



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

ARTHUR FELIPE RODRIGUES DOS SANTOS

**LIMIARES CRÍTICOS DE CHUVAS NO MUNICÍPIO DE
MACEIÓ-AL: UMA CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE
PLUVIOSIDADE E MOVIMENTOS MASSA**

**Maceió
2021**

ARTHUR FELIPE RODRIGUES DOS SANTOS

**LIMIARES CRÍTICOS DE CHUVAS NO MUNICÍPIO DE
MACEIÓ-AL: UMA CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE
PLUVIOSIDADE E MOVIMENTOS MASSA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas – PPGG/IGDEMA/UFAL, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão

Coorientador: Prof. Dr. Fabrizio Luiz de Rosito Listo.

**Maceió
2021**

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S2371 Santos, Arthur Felipe dos.
Limiars críticos de chuvas no município de Maceió-AL : uma correlação estatística entre pluviosidade e movimentos massa / Arthur Felipe dos Santos. – 2021.
72 f. : il. color.

Orientadora: Nivaneide Alves de Melo Falcão.

Coorientador: Fabrizio Luiz de Rosito Listo.

Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió.

Bibliografia: f. 69-72.

1. Taludes (Mecânica do solo). 2. Deslizamentos (Geologia) - Fatores de risco. 3. Pluviometria - Maceió (AL). I. Título.

CDU: 911.2:551.5(813.5)

ARTHUR FELIPE RODRIGUES DOS SANTOS

**LIMIARES CRÍTICOS DE CHUVAS NO MUNICÍPIO DE
MACEIÓ-AL: UMA CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE
PLUVIOSIDADE E MOVIMENTOS MASSA**

Aprovado em: 01/10/2021

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão
PPGG/IGDEMA/UFAL

Profa. Dra. Ana Paula Lopes da Silva
PPGG/IGDEMA/UFAL

Prof. Dr. Danielle Gomes da Silva Listo
DCG/UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais pelo apoio, incentivo, investimento na minha educação e amor. Agradeço a minha irmã, Ana Beatriz, pelo apoio nos momentos difíceis da Pós-graduação.

Aos meus amigos do mestrado pelo apoio emocional e por me propiciar os melhores momentos dentro da Universidade, em especial, Manoel e Allyson, vocês foram muito especiais neste período.

Aos meus amigos que conheci em Maceió, pela paciência e compreensão em todos os momentos e tantos que me ajudaram principalmente nesse ano que passei longe da minha casa, obrigado pelo acolhimento.

Aos meus amigos do Vôlei UFAL: Guilherme, Breno, Rafinha, Maxuel, Gabriel, Anderson, entre outros, por me proporcionar ótimos momentos jogando vôlei e defendendo a camisa da UFAL. Muito obrigado.

Não posso esquecer-me de agradecer ao Grupo GEOMORFOS por me acolher de braços abertos e me ajudar na realização dos trabalhos, em especial a professora Nivaneide Falcão, minha orientadora, muito obrigado.

Agradeço a Rodrigo Tenório que nos últimos anos tem sido uma pessoa muito especial que me auxiliou em todos os momentos tumultuados que foi essa mudança de estado, obrigado por estar comigo sempre.

Agradeço aos meus colegas de trabalho que me ajudaram nesses meses finais tornando parte do meu dia mais leve, em especial a Amanda, Fernanda, Nataly, Mayara e Lucas, meu muito obrigado, vocês me auxiliaram com boas risadas, sou muito, muito grato aos momentos que passamos.

Por fim, agradeço ao meu coorientador Fabrizio Listo pela paciência, dedicação e esforço de extrair sempre o melhor de mim. E novamente a minha Orientadora Nivaneide Falcão pelas orientações e direcionamentos, este trabalho não seria possível sem suas orientações. Obrigado pela confiança.

RESUMO

A relação entre pluviometria e ocorrência de escorregamentos representa uma importante ferramenta para criação de sistemas de alerta e desenvolvimento de um plano de mitigação de movimentos de massas no município de Maceió (AL). Os movimentos de massa são aqueles definidos por serem eventos naturais de movimentação de solo e/ou rocha ao longo de uma encosta sob a ação direta da gravidade, podendo ser acrescida por outros agentes de transporte, que reduzem a resistência dos materiais de encostas e podem induzir um comportamento plástico e fluido dos solos. Os escorregamentos resultam da ruptura das condições de equilíbrio, definidas por fatores geológicos, geomecânicos e climáticos, tendo as chuvas e o uso da terra, como fatores fundamentais na deflagração desses processos. A construção do modelo proposto partiu da análise e compilação dos eventos pluviométricos que resultaram em processos de escorregamento no município, baseando-se na avaliação dos dados de série histórica de pluviometria, e de um banco de dados formado a partir das ocorrências de escorregamentos atendidas no município. Fazendo uma correlação empírica dos dados em que estarão consideradas as chuvas acumuladas antecedentes aos escorregamentos de 24h (mm/24h), 48h (mm/48h), 72h (mm/72h), 96h (mm/96h) 120h (mm/120), A partir dos dados de pluviometria do município, fornecido pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e os dados de escorregamentos georreferenciados cedidos pela Defesa Civil do município foram elaborados gráficos de dispersão no Excel para compreender a curva de correlação entre os fenômenos para definir a correlação e os limiares pluviométricos críticos, máximos ou mínimos necessários para deflagrar processos de ruptura, sendo de suma importância para o monitoramento de áreas de risco, atuando diretamente na preservação de vidas humanas. O valor mínimo de precipitação acumulada necessária para provocar os acidentes na região foi estimado em 48,2mm/6 dias. O valor definido como nível de atenção, ou valor com maior probabilidade de ocorrências de escorregamentos, foi de 90,3mm/5 dias em Maceió. Na análise dos escorregamentos georreferenciados e os elementos do meio físico, destacou-se: os solos urbanos, a Formação Barreira e os Rebordos Erosivos. Por fim, foi possível estabelecer a correlação entre a pluviometria e os escorregamentos permitindo determinar um limiar pluviométrico crítico para o município, combinando a intensidade pluviométrica diária (mm/dia) com a pluviometria acumulada em 5 dias antecedentes (mm/5d), com uma relação numérica PD =

353,9PA0,368. Palavras-chave: encostas; escorregamentos; pluviometria; gestão de risco.

ABSTRACT

The relationship between rainfall and landslides represents an important tool for creating warning systems and developing a mass movement mitigation plan in the city of Maceió (AL). Mass movements are those defined as being natural events of soil and/or rock movement along a slope under the direct action of gravity, which can be added by other transport agents, which reduce the resistance of slope materials and can induce a plastic and fluid behavior of the soils. Landslides result from the disruption of equilibrium conditions, defined by geological, geomechanical and climatic factors, with rainfall playing a fundamental role in triggering these processes. The construction of the proposed model started from the analysis and compilation of rainfall events that resulted in landslide processes in the municipality, based on the evaluation of historical series of rainfall data and a database formed from the occurrences of landslides attended in the County. Making an empirical correlation of the data that will be considered the accumulated rainfall prior to landslides of 24h (mm/24h), 48h (mm/48h), 72h (mm/72h), 96h (mm/96h) 120h (mm/120). Based on the municipality's rainfall data, provided by NWSA (National Water and Sanitation Agency) and the georeferenced landslide data provided by the municipality's Civil Defense, scatter plots were prepared in Excel to understand the correlation curve between the phenomena to define the correlation and critical rainfall thresholds, maximum or minimum necessary to trigger rupture processes, being of paramount importance for the monitoring of risk areas, acting directly in the preservation of human lives. The minimum amount of accumulated precipitation necessary to cause accidents in the region was estimated at 48.2mm/6 days. The value defined as the level of attention, or the value with the highest probability of occurrences of landslides was 90.3mm/5 days in Maceió. In the analysis of georeferenced landslides and the elements of the physical environment, the following stood out: urban soils, the Barreira Formation and the Erosive Edges. Finally, it was possible to establish the correlation between rainfall and landslides allowing to determine a critical rainfall threshold for the municipality, combining the daily rainfall intensity (mm/day) with the rainfall accumulated in the previous 5 days (mm/5d), with a numerical ratio $PD = 353.9 PA - 0.368$.

Keywords: slopes; landslides; pluviometry; risk management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Evidências de rastejo em campo.	15
Figura 02 - Ilustração de escorregamento circular ou rotacional.	17
Figura 03 - Ilustração de escorregamento planar ou translacional.	18
Figura 04 - Ilustração de um escorregamento em cunha.	19
Figura 05 - Ilustração da corrida de detritos.	20
Figura 06- Correlação chuva e categorias dos deslizamentos.	28
Figura 07 – Carta de periculosidade do Rio de Janeiro (RJ).	31
Figura 08 - Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos em Serra do Mar, Cubatão – SP.	32
Figura 09 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias para escorregamentos.	33
Figura 10 – Mapa de localização de Maceió- AL.	35
Figura 11 – Mapa das unidades geológicas de Maceió.	39
Figura 12 – Mapa de unidades de relevo de Maceió.	40
Figura 13 – Mapa hipsométrico de Maceió.	42
Figura 14 – Mapa de declividade de Maceió.	43
Figura 15 – Mapa de suscetibilidade de movimento de massa em Maceió.	45
Figura 16 – Mapa de classes de solos de Maceió.	46
Figura 17 – Distribuição das estações pluviométricas em Maceió.	50
Figura 18 – Distribuição dos escorregamentos e pluviometria registrados.	53
Figura 18 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 1 dia.	55
Figura 19 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 2 dias.	55
Figura 20 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 3 dias.	56
Figura 21 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 4 dias.	56
Figura 22 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 5 dias.	57
Figura 23 – Correlação entre precipitação diária e precipitação acumulada de cinco dias.	60
Figura 24 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Unidade Geológica.	62
Figura 25 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de solo de Maceió.	63
Figura 26 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Padrão de Relevo de Maceió.	64

Figura 27 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Declividade de Maceió.	65
Figura 28 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Hipsometria de Maceió.	66
Figura 29 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Susceptibilidade de Maceió.	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos movimentos de massa.	14
Quadro 2 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa.	21
Quadro 3- Resumo do histórico de pesquisas de correlação de chuvas e escorregamento.	34
Quadro 4 - Data e localização dos escorregamentos possivelmente ocasionados pela chuva em Maceió.	48
Quadro 5. Localização de pluviômetros em Maceió.	49
Quadro 6 – Precipitação acumulada que antecederam as ocorrências de escorregamento.	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Problema	11
1.2 Hipótese	11
1.3 Objetivos	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 Movimentos de massa: uma breve revisão teórico-conceitual	12
2.2 Tipos de movimentos de massa	14
2.2.1 Rastejos (<i>creep</i>)	15
2.2.2 Escorregamentos (<i>slides</i>)	16
2.2.3 Escorregamento rotacional ou circular	17
2.2.5 Escorregamento em cunha	18
2.2.6 Corrida de detritos	19
2.3 Condicionantes dos movimentos de massa	20
2.3.1 Clima e pluviosidade	22
2.3.2 Vegetação	23
2.3.3 Uso e ocupação do solo	23
2.4 Aspectos Climatológicos	24
2.5 Chuvas e Movimentos de massa	24
2.5.1 Modelos de correlação desenvolvidos internacionalmente	25
2.5.2 Estudos nacionais sobre limiares pluviométricos	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Caracterização geral da área de estudo	33
3.2 Mapas temáticos de Maceió	35
3.3 Descrição dos aspectos metodológicos	45
3.3.1 Aquisição de dados	45
3.3.2 Arquivamento das informações coletadas.	46
3.3.3 Correlação entre escorregamento e pluviosidade	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Distribuição temporal dos dados	51
4.2 Análise do número pluviosidade acumulada mais efetiva nos processos de escorregamentos	52
4.3 Relação numérica entre pluviosidade e escorregamentos	58
4.4 Escorregamentos em função da espacialização	60
5. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

O aumento da incidência dos escorregamentos nos municípios brasileiros tem elevado as preocupações sobre suas consequências fazendo, nos últimos anos, grande número de vítimas fatais e incontáveis prejuízos econômicos. Trazendo à luz estudos que preconizam o conhecimento e a prevenção dos deslizamentos. O interesse acerca dos movimentos de massa mostra-se fundamental devido ao grande número de cidades que são atingidas, sobretudo em períodos chuvosos. O monitoramento e a prevenção eficazes destes eventos são um desafio. É necessário ter conhecimento dos agentes condicionantes e da deflagração para gerir com êxito essas áreas (IDE, 2005).

Os movimentos de massa são definidos por serem eventos naturais de movimentação de solo e/ou rocha ao longo de uma encosta sob a ação direta da gravidade, apesar de fazer parte da dinâmica geomorfológica das encostas, esse tipo de evento vem sendo cada vez mais frequente nos grandes centros brasileiros, agravado por um processo inadequado de urbanização. Portanto, as características geomorfológicas, geológicas, pedológicas e climáticas, somado à atividade antrópica, devido ao uso e ocupação inadequada do solo, aceleram esse processo natural (SILVA, 2014).

Eventos chuvosos estão diretamente relacionados à deflagração de escorregamentos, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, sobretudo durante o verão, em eventos de chuva concentrada, que ocorrem anualmente, nos grandes centros brasileiros. Nesse sentido são importantes mecanismos que visam à previsão de tais eventos. Segundo Augusto Filho (2001) a precipitação é fator importante para a deflagração do escorregamento, pois influencia no aumento do grau de saturação do solo, aumento do peso do solo ou surgimento de pressões hidrostáticas.

O monitoramento é um importante instrumento de gestão das áreas de risco de caráter preventivo a escorregamentos que visa à preservação de vidas humanas. Tendo em vista que este é um problema de interesse social, em regiões de todo o mundo. A correlação e definição de limiares pluviométricos críticos, máximos ou mínimos necessários para deflagrar processo de escorregamento é um instrumento que pode reduzir ou extinguir os danos materiais e as perdas de vidas decorrentes da ocorrência dos movimentos de massa, apesar de não evitar a ocorrência.

O número de escorregamentos de encostas decorrente de chuvas intensas tem crescido ao longo do território nacional (e.g. Santa Catarina - Nov/2008, Angra dos Reis - Jan/2010, Nova Friburgo - Jan/2011, Litoral do Paraná - Mar/2011, BR376 - Mar/2011). Há um aumento considerável não somente com relação à frequência e

intensidade, mas também nos prejuízos e danos causados pelos desastres socioambientais (MARCELINO, 2006).

Áreas ocupadas de forma irregular e sem controle técnico ou planejamento urbano são áreas que estão mais vulneráveis aos processos de escorregamentos de encostas. Para Silva (2014) chuvas intensas e concentradas, encostas sem vegetação, descontinuidades litológicas e pedológicas, assentamentos urbanos irregulares em encostas íngremes são algumas das condições que podem acelerar os processos de deslizamentos.

Houve em Maceió um crescimento populacional acelerado, de tal forma que as ocupações foram ampliando-se para as áreas periféricas do município, em um cenário totalmente inapropriado, ocupando encostas e com edificações com baixos padrões construtivos. Até os dias de hoje, o desenvolvimento da cidade e sua expansão vem ocorrendo de maneira inadequada e em locais não apropriados, de difícil acesso, portanto menos valorizados e de fácil aquisição. Estes fatores somados às características morfológicas e geotécnicas desfavoráveis à ocupação propiciam um ambiente altamente vulnerável aos processos de movimentação de encostas.

Maceió possui um grande histórico de problemas de escorregamento de encosta. O município possui aspectos uma geomorfologia colinosa estruturada sobre sedimentos da Formação Barreiras, além de possuir um clima com uma alta pluviosidade e uma acentuada ocupação antrópica. Todos esses condicionantes predisõem a área à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

Assim, tomamos como recorte espacial as áreas de risco da cidade de Maceió, destacada por apresentar um vasto histórico de acidentes, vários deles com vítimas fatais. Portanto, recorreremos ao aparato teórico-metodológico para o entendimento dos processos de movimento de massa, bem como, os aspectos climatológicos da área estudada para alcançar a correlação e subsidiar o órgão de defesa civil do município. Trata-se de instrumentalizar a prevenção contra movimentos de massa baseando-se em critérios técnicos. Utilizando os respectivos dados de precipitação diária, (mm/24h), e precipitação acumulada, (mm/48); (mm/72h); (mm/96); (mm/120), visando estabelecer limiares críticos de chuva para serem utilizados pela defesa civil de município.

Este estudo tem o recorte temporal entre os anos 2018 a 2020 em razão de ter se concentrado neste período as principais mudanças, sobretudo, no adensamento populacional nessas áreas e por se tratar do período com ocorrências registradas e

georreferenciadas pela defesa civil do município, viabilizando o estudo, assim como, o aumento da intensidade desses eventos, pretendendo guardar vidas.

O monitoramento dessas áreas de risco é um importante instrumento de gestão das áreas susceptíveis a escorregamentos de caráter preventivo que visa à preservação de vidas humanas. Tendo em vista que este é um problema de interesse social, em regiões de todo o mundo. A correlação e definição de limiares pluviométricos críticos, máximos ou mínimos necessários para deflagrar processos de ruptura terá como objetivo obter a quantidade de chuva necessária para deflagrar os processos de escorregamento de encosta a fim de que possa haver um monitoramento nas áreas de risco do município de Maceió-AL visando minimizar as perdas sociais e econômicas

1.1 PROBLEMA

Qual a influência da precipitação no desencadeamento dos movimentos de massa nas encostas urbanas da cidade de Maceió?

1.2 HIPÓTESE

A definição de limiares críticos de chuvas é um instrumento que pode delimitar as áreas com movimentos de massa e que pode ser utilizado pela defesa civil a fim de mitigar os danos causados pelos escorregamentos em encostas de áreas urbanas do município de Maceió.

1.3 OBJETIVOS

Geral

Sugerir limiares críticos de precipitações acumuladas deflagradores de escorregamentos nas encostas urbanas de Maceió.

Específicos

- Inventariar as ocorrências dos escorregamentos no município Maceió;
- Analisar a normal climatológica e os dados pluviométricos do município;
- Delimitar as áreas segundo a localização das ocorrências de escorregamentos e estações pluviométricas;
- Relacionar os dados de precipitação com as ocorrências de escorregamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA: UMA BREVE REVISÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

Os movimentos de massa se caracterizam por serem eventos naturais de movimentação de solo e/ou rocha ao longo de uma encosta sob a ação direta da gravidade, podendo ser acrescida, ou não, por outros agentes de transporte, água ou gelo, que reduzem a resistência dos materiais de encostas e/ou induzem um comportamento plástico e fluido dos solos (SELBY, 1993; TOMINAGA *et al*, 2009; GUERRA e MARÇAL, 2006; BIGARELLA *et al*, 2003). Os movimentos de massa fazem parte da dinâmica da paisagem, afirmando-se como um dos principais processos geomorfológicos na evolução e pela dinâmica do relevo, assim como outros processos intempéricos (DIAS e HERRMANN, 2002; PINTO *et al*, 2013).

Leroueil *et al.* (1996) indicam que os movimentos de massa são sistemas físicos que se desenvolvem no tempo através de vários estágios dividindo-se em: i) Estágio pré-ruptura: Inclui todo e qualquer processo de deformação que pode levar a ruptura. Estágio controlado por mudanças na resistência a rastejo ou ruptura progressiva; ii) Estágio de ruptura: É a fase mais significativa na história do movimento de massa e se caracteriza pela formação de uma superfície de cisalhamento na massa de solo; iii) Estágio pós-ruptura: Inclui desde a ruptura até o término da movimentação. Há um aumento da razão de deslocamento, seguido da diminuição progressiva de velocidade; iv) Estágio de reativação: Acontece quando uma massa de solo desliza ao longo de uma superfície de ruptura pré-existente.

Existem diversos tipos de movimentos de massa, as classificações os diferenciam por características como: tipo do material e velocidade dos processos (MONTGOMERY e DIETRICH, 1991; GUERRA, 2009). A diversidade de definições e termos utilizados na caracterização dos movimentos de massa denota a complexidade desse fenômeno. Para Gerscovich (2012) a maior parte das classificações tem aplicabilidade regional e tem como elementos basilares as condições geológicas e climatologia local.

Internacionalmente, pode-se destacar o sistema de classificação apresentado por Sharpe em 1938, sendo considerada a primeira classificação de ampla aceitação da comunidade científica, pois serviu de base de diversos estudos, sobretudo nos Estados Unidos. Tal qual, a proposta se baseia em: natureza e velocidade de movimento, quantidade de água e gelo atuantes no processo e tipo de material.

Ainda em relação à classificação internacional dos movimentos de massa, se destaca a de Varnes (1978), amplamente utilizada. Em sua classificação a proposta apresenta seis tipos de movimentos: queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e complexo. Além de mais complexa, essa classificação apresenta uma novidade por ser aplicável tanto para solo quanto para rochas.

Outras classificações destacadas são as apresentadas por Selby (1982) e por Hunt (1984). A apresentada por Selby se atenta para os variados materiais e processos, apresentando os seguintes critérios: velocidade e mecanismo do movimento; material; modo de deformação; geometria de massa mobilizada; e conteúdo de água. Igualmente, Hunt divide os movimentos de massa em sete tipos: quedas, escorregamentos, avalanches, corridas, rastejos, solifluxão e movimentos complexos.

Ademais a classificação de Hutchinson (1988) buscou ampliar os critérios, baseado no tipo de movimento, destacando em sua classificação a morfologia da massa em movimento, tipo de material, tipo de ruptura, condições de poro-pressão, velocidade de movimento e as características do solo. Cruden (1991) separou os movimentos de massa em rastejos, corridas, escorregamentos e quedas de blocos.

Apesar do desenvolvimento de classificações internacionais, é flagrante a necessidade de classificações que atendam condições climatológicas locais, isso posto, o primeiro modelo adaptado ao clima tropical e subtropical úmido, foi apresentado por Freire (1965), propondo a divisão do movimento de massa em escoamento, escorregamento, subsidência e desabamentos.

Nesse sentido, aprimorando a sistematização realizada por Freire, Guidicini & Nieble (1984) elaboraram sua proposta classificando os movimentos de massa em três categorias: escoamento, escorregamento e subsidência. Outra classificação a ser destacada foi a concebida pelo IPT (1991), baseada nas outras classificações brasileiras supracitadas.

Nacionalmente, uma das classificações mais consagradas é a de Augusto Filho (1992) (Quadro 1), que classifica os processos em relação a sua dinâmica, velocidade, geometria e material. Assim os movimentos de massa são divididos em rastejos; escorregamentos; quedas de bloco e corridas de detrito.

Quadro 1: Classificação dos movimentos de massa. Fonte: AUGUSTO FILHO (1992).

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> • vários planos de deslocamento (internos) • velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • geometria indefinida
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> • poucos planos de deslocamento (externos) • velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • pequenos a grandes volumes de material • geometria e materiais variáveis: <p>Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</p> <p>Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</p> <p>Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> • sem planos de deslocamento • movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • velocidades muito altas (vários m/s) • material rochoso • pequenos a médios volumes • geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. <p>Rolamento de matacão</p> <p>Tombamento</p>
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> • muitas superfícies de deslocamento • movimento semelhante ao de um líquido viscoso • desenvolvimento ao longo das drenagens • velocidades médias a altas • mobilização de solo, rocha, detritos e água • grandes volumes de material • extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

2.2 TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

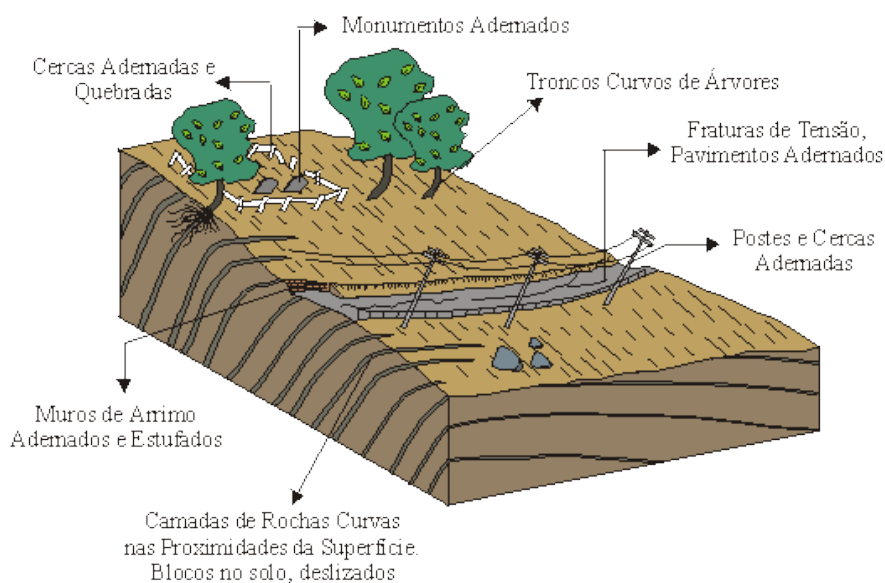
Como apresentado acima, há alguns estudos que classificam os movimentos de massa, no Brasil, considerando condições climáticas locais, para esse estudo será destacado a classificação de AUGUSTO FILHO (1992), destacando: rastejos (baixa velocidade, envolvendo solo); escorregamento (alta velocidade, envolvendo solo) e corridas (velocidade média/alta, envolvendo solos, detritos e rochas).

2.2.1 Rastejos (*creep*)

São caracterizados por serem movimentos de baixa velocidade, medidas geralmente em cm/ano, que envolvem, muitas vezes, grandes volumes de solos, mas que não apresentam uma diferenciação visível entre o material em movimento e o estacionário (AUGUSTO FILHO, 1992; TOMINAGA et al., 2007). Para Selby (1993) é um movimento gravitacional considerado lento e contínuo da camada superficial do solo, perceptível somente em observações de longa duração (Figura 01).

Para Ahrendt (2005) os rastejos podem ser classificados em três graduações, levando em consideração o volume e momento em relação a ruptura: (i) superficiais: são movimentos sazonais, predominantemente nas camadas superficiais do terreno, podendo aumentar de volume conforme alteração de umidade e temperatura; (ii) pré-ruptura: denota um avançado estágio de rastejo antecedendo a ruptura de cisalhamento; (iii) pós-ruptura: é a recorrência de movimentação pós ruptura.

Figura 01 - Evidências de rastejo em campo. Fonte: UNESP/IGCE (1999).



Segundo Freire (1995), a ocorrência de um rastejo está relacionada a alguns mecanismos que atuam no processo, tais como: o inchamento e a contração do solo devido as variações de umidade; a ação constante da gravidade, que em períodos chuvosos é intensificada pelo aumento de peso do solo e o aumento das tensões cisalhantes; a formação de pressões positivas de percolação da água durante chuvas intensas; a redução da coesão do solo pelo aumento da umidade; e o efeito da variação

térmica que resulta no deslocamento de material.

Segundo Rodrigues (2013), esses movimentos podem ser causados pelo pisoteio de gado e pelo crescimento de raízes, auxiliados pela presença de água no solo. Um indício do rastejo é a presença de árvores, postes e troncos de árvores inclinados (Figura 1), na qual a identificação do processo é bastante relevante, considerando que podem evoluir para escorregamentos.

2.2.2 Escorregamentos (*slides*)

É um movimento de uma massa de solo ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento. Os escorregamentos, que será o foco desta pesquisa, são classificados como movimentos rápidos, com volumes definidos, deslocando-se pela ação da gravidade, para baixo e para fora da encosta. Apresentam um plano de ruptura bem definido, que permite a distinção entre o material deslizado e aquele que não foi movimentado (TOMINAGA *et al*, 2007; RODRIGUES, 2013).

Os escorregamentos resultam da ruptura das condições de equilíbrio, definidas por fatores geológicos, geomecânicos e climáticos, tendo as chuvas, papel fundamental na deflagração desses processos. O solo pode ter seus espaços vazios preenchidos por ar e água, determinando um maior ou menor grau de saturação, reduzindo a resistência no caso de solos coesivos e em variações de pressões no interior dos maciços (ALHEIROS, 1998).

Os movimentos de massa de curta duração ocorrem quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento do escorregamento. Logo, o momento de ruptura acontece quando a força gravitacional vence as forças de coesão e de atrito interno das partículas, responsáveis pela estabilidade, então, a massa de solo se movimenta (BREZERRA, 2016).

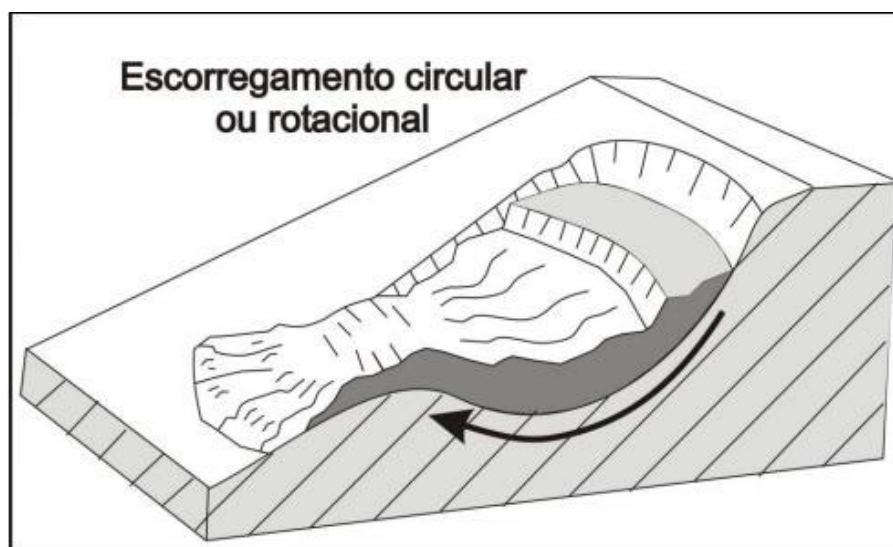
São geralmente divididos com base no tipo de material movimentado, que pode ser constituído por solo, rocha, por uma complexa mistura de solo e rocha ou até mesmo por lixo doméstico. Levando-se em consideração a geometria e a natureza dos materiais instabilizados, os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos rotacionais ou circulares, escorregamentos translacionais ou planares e escorregamentos em cunha (FERNANDES; AMARAL, 2000; IPT, 1991; TOMINAGA *et al* 2009; RODRIGUES, 2013).

2.2.3 Escorregamento rotacional ou circular

Os escorregamentos do tipo rotacional ou circular (Figura 2.2) caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço de solo (AUGUSTO FILHO, 1992; TOMINAGA *et al.*, 2007). O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como na implantação de uma estrada, ou para construção de edificações, ou ainda pela erosão fluvial no sopé da encosta (figura 02) (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Esse tipo de processo ocorre preferencialmente em materiais homogêneos, sendo um processo muito comum em estradas e rodovias, devido, sobretudo, à construção de encostas artificiais. Quanto ao mecanismo de ruptura do processo, está relacionado à infiltração da água da chuva. Portanto para Ahrend (2005) a perda de equilíbrio é devido ao tipo de material, suas propriedades hidráulicas e a relação entre quantidade de água infiltrada e resistência a cisalhamento.

Figura 02 - Ilustração de escorregamento circular ou rotacional. Fonte: Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2007

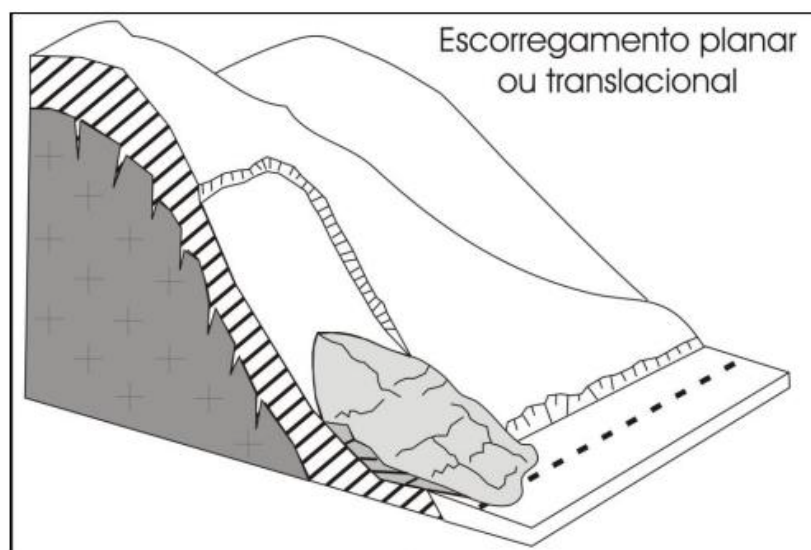


2.2.4 Escorregamentos translacionais

São os mais frequentes no Brasil, configurando-se como rasos, cujos planos de ruptura, na maioria das vezes, são de 0,5 m a 5,0 m de profundidade e com maiores extensões no comprimento (AUGUSTO FILHO, 1992; SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996) (figura 03). No Brasil são deflagrados durante eventos pluviométricos de alta intensidade, quando a taxa de infiltração se torna superior à taxa de retirada de água do interior da encosta por fluxos subsuperficiais (DIAS *et al.*, 2002).

Logo, em períodos de maior pluviosidade, tanto de frequência quanto em intensidade, a superfície de contato do solo com a rocha sã, fragilizada pelas discontinuidades, rompe-se rapidamente. A massa de solo que se movimenta apresenta morfologia rasa e na maioria das vezes com maior extensão no comprimento, como é possível observar na Figura 3.

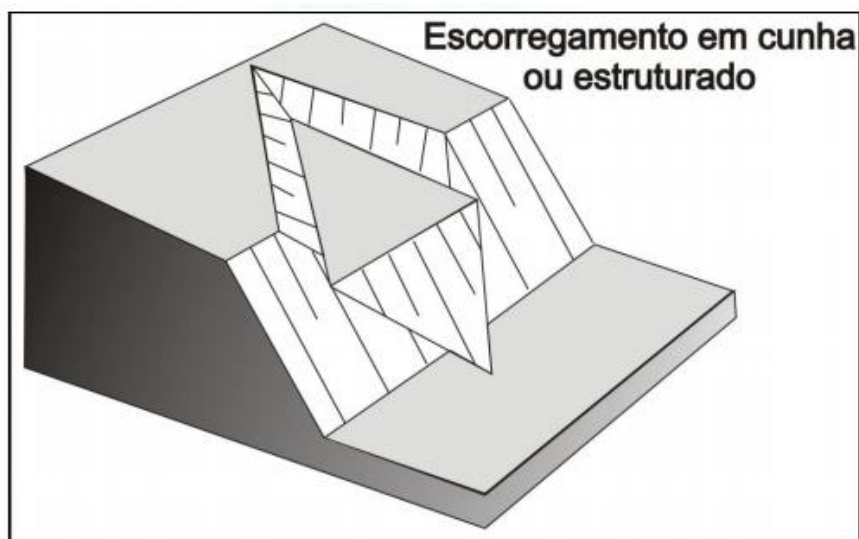
Figura 03 - Ilustração de escorregamento planar ou translacional. Fonte: Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2007.



2.2.5 Escorregamento em cunha

Já os escorregamentos em cunha estão associados à saprólitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade, sua principal característica, condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos (figura 04). Estes processos são mais comuns em taludes de corte, ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou escorregamentos pretéritos (CARVALHO *et al.*, 2007).

Figura 04 - Ilustração de um escorregamento em cunha. Fonte: IPT, 2007.



2.2.6 Corrida de detritos

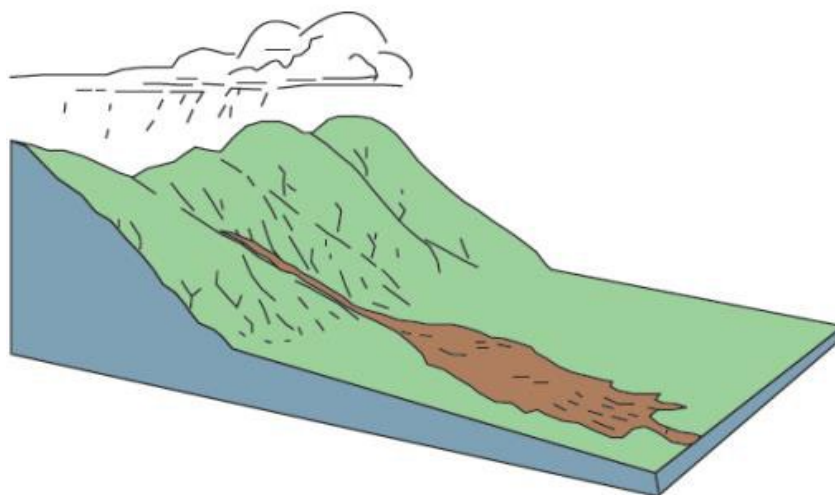
Podem ser conceituados como movimentos rápidos, associadas à concentração dos fluxos d'água superficiais. São ocasionadas pela perda de atrito interno das partículas de solo, em virtude da destruição de sua estrutura interna (AUGUSTO FILHO, 1992) (figura 05). Para Rodrigues (2013), o material movimentado se comporta como um fluido viscoso devido ao excesso de água, que proporciona a perda de atrito interno. Conforme o tipo de material pode ser classificado como corrida de lama, solo ou de blocos.

As corridas estão associadas, em geral, à concentração excessiva de fluxos de água superficiais, sendo raras, pois estão associadas às chuvas anômalas, que deflagram em algum ponto da encosta, produzindo estragos maiores que os escorregamentos. O fluxo destrói tudo no seu caminho, desde o local de formação (encosta), até a área de deposição (planícies). Envolve grandes quantidades volume de materiais vegetal (troncos e galhos); fluxos de lama visto que acarreta uma deformação plástica de solos argilosos, transformando em fluxo turbulento; dentre outros (KOBAYAMA, 2006; LOPES, 2006).

A origem desse movimento está associada majoritariamente a dois fenômenos: a transformação da massa sólida em fluido viscoso pelo aumento de volume, resultante do aumento da porosidade; e a acumulação de sedimentos depositados nas linhas de

drenagem (trajetória das corridas de detritos), e/ou barramento natural em drenagens (LOPES, 2006).

Figura 05 - Ilustração da corrida de detritos. Fonte: HIGHLAND; BOBROWSKY (2008).



O movimento de massa classificado como queda de blocos não é caracterizado nessa pesquisa, pois a área estudada não possui características geológicas para o seu desenvolvimento.

2.3 CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa são eventos naturais e importantes para a evolução e para a modelagem de encostas, sendo estes processos deflagrados por eventos chuvosos extremos, chuvas prolongadas de intensidade moderada ou também estão associados a fatores como estrutura geológica, características dos materiais envolvidos, morfologia do terreno (declividade, tipo de modelado e forma das encostas) e formas de uso da terra (SELBY, 1993).

A instabilidade da encosta acontece quando as tensões de cisalhamento atingem o mesmo valor da resistência ao cisalhamento. Guidicini e Nieble (1984) dividiram os agentes condicionantes de movimentos de massa em dois grupos: agentes predisponentes e agentes efetivos, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa. Fonte: Guidicini e Nieble (1984).

Agentes/causas de escorregamento			
Agentes	Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrologógico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desmatamentos.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão de gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
Causas	Internas	Efeito das oscilações térmicas; Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	
	Externas	Mudança na geometria do sistema; Efeito de vibrações; Mudanças naturais na inclinação das camadas.	
	Intermediárias	Elevação no nível piezométrico em massas “homogêneas”; Elevação da coluna de água em discontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea retrogressiva (<i>piping</i>); Diminuição do efeito de coesão aparente.	

Os agentes condicionantes predisponentes correspondem ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área onde se desenvolvem os movimentos de massa, sendo, conseqüentemente, agentes naturais relacionados às características dos materiais, portanto, não considerando as ações antrópicas na paisagem (TOMINAGA, 2007; CARVALHO *et al.*, 2007). Podem ser incluídos nessa categoria os complexos geológico-geomorfológico (comportamento das rochas, perfil e espessura do solo em função da maior ou menor resistência da rocha ao intemperismo) e complexos hidrologógicos-climáticos (relacionado ao intemperismo físico-químico e químico). A gravidade e a vegetação natural também podem estar incluídas nesta categoria (CARVALHO *et al.*, 2007).

Já os agentes efetivos estão relacionados aos elementos que estão diretamente relacionados a deflagração dos movimentos de massas. Podem ser classificados ainda como preparatórios e imediatos. Os agentes efetivos preparatórios são: pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e ação humana (ex. desmatamento), entre outros (CARVALHO *et al.*,

2007). São exemplos de agentes efetivos imediatos: a chuva intensa, a erosão, os terremotos, as ondas, a ação do vento, a interferência do homem, entre outras (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Entre os condicionantes geomorfológicos, destacam-se a forma das encostas (curvatura), declividade, orientação de encosta e direção de fluxo. Fatores topográficos que são relevantes ao analisar a estabilidade de uma encosta.

Apesar dos movimentos de massas serem eventos naturais, a ação antrópica contribui para a deflagração desses processos, alterando a estabilidade da encosta. Para Carvalho (2007) pode ser causada pela execução de cortes e de aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação, entre outros. De acordo com Fernandes e Amaral (1996), as metrópoles brasileiras convivem com uma acentuada incidência de escorregamentos induzidos por cortes para implantação de moradias e vias de acesso, desmatamentos, atividades de mineração, lançamento de águas servidas e de lixo, causando expressivos danos.

Com relação aos agentes condicionantes anteriormente citados, destacam-se algumas das formas de atuação de alguns deles na ocorrência dos movimentos de massa, mais importantes para este estudo, se mostrando a discussão como etapa fundamental para a compreensão dos processos.

2.3.1 Clima e pluviosidade

Destacam-se a precipitação, a temperatura e a umidade como os principais elementos para a deflagração de movimentos de massa. No entanto é importante destacar que estes atuam em uma escala de tempo diferente, a precipitação pode deflagrar o movimento de massa de forma imediata, já a temperatura e a umidade atuam destacadamente nos processos de intemperismo e erosão das rochas e dos materiais do solo, em uma escala temporal menos imediata. A precipitação é responsável pelo maior fluxo de água a atuar na destabilização das encostas.

No Brasil, em períodos de índice pluviométrico elevado, a grande pluviosidade, atuando sobre encostas íngremes, provoca a saturação do solo. Este processo de saturação, segundo Tatizana et al. (1987), Soares (2000) e Gerscovich (2008), atua diretamente na deflagração dos movimentos de massa através da alteração da resistência do solo devido à diminuição da coesão, eliminação das tensões capilares e dissolução da cimentação; diminuição da resistência ao cisalhamento dos materiais devido ao aumento da pressão hidrostática; diminuição da coesão e ângulo de atrito

interno por processo de alteração; aumento das solicitações externas devido ao aumento do peso específico sobre uma determinada área de encosta; dentre outros fatores.

2.3.2 Vegetação

A cobertura vegetal tem atuação na estabilização das encostas, atuando de maneira positiva ou negativa nesse processo, pois, a depender das suas próprias características, o contexto geral e das condições da encosta. Portanto o desempenho positivo é exercido quando a vegetação protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, dispersando-as e/ou interceptando-as, por meio dos materiais orgânicos, além de permitir a evaporação de parte dessas gotas, antes que estas atinjam o solo. Os troncos e as raízes das plantas orientam a infiltração da água de maneira lenta e seguram as partículas de solo dificultando o seu arraste.

De tal forma que quando se tem um terreno que está sem cobertura vegetal o impacto das gotas faz as partículas dos solos se desprenderem e serem facilmente transportadas pelo escoamento superficial, agravando a erosão. Desta forma, demonstra o efeito desfavorável da atuação da cobertura vegetal sobre a estabilidade da vertente. Em áreas urbanas, como Maceió, em períodos chuvas intensas ocorre à intensificação dos processos erosivos, as árvores de grande porte, aquelas predominantemente presentes entre as moradias, produzem o chamado efeito alavanca, ocasionando aumento de peso sobre a encosta e a conseqüente sobrecarga vertical da encosta. Somado a isso, considera-se a ação dos ventos sobre as copas, que contribui para a desestabilização e para o tombamento das árvores, favorecendo a ocorrência de movimentos de massa posteriores.

2.3.3 Uso e ocupação do solo

Para as áreas urbanas, o uso e a ocupação do solo são os principais fatores que condicionam diretamente a ocorrência dos movimentos de massa. Tominaga (2009) aponta que o expressivo aumento do número de acidentes associados a escorregamentos nas encostas urbanas tem como principal causa a ocupação desordenada de áreas que apresentam alta suscetibilidade aos processos de movimento de massa.

Para Wiggers (2013) As ações antrópicas são responsáveis por modificar as características naturais das encostas, causando instabilidades. Outras atividades que

auxiliam na deflagração de processos de instabilização destacam-se: o desmatamento, a realização de cortes com a formação de patamares, os depósitos tecnogênicos com materiais que apresentam comportamento heterogêneo e de baixa compactação, como lixo, rejeitos de construções e de antigas pedreiras.

2.4 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Compreender mecanismos naturais, dentre os quais o comportamento da atmosfera, foi necessário para que população alcançasse a condição de manipular esses fenômenos em diversas escalas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Há basicamente dois fatores preponderantes na determinação das características climáticas nas diversas regiões do planeta Terra, os elementos do tempo e do clima, caracterizados na Troposfera e os fatores climáticos.

Podem-se destacar como principais elementos que constituem o clima: temperatura, pressão atmosférica, ventos, umidade do ar, nebulosidade, insolação, radiação solar e precipitação.

Já os fatores climáticos, para Torres e Machado (2011), são os que promovem alterações, deveras significativas, no clima e/ou nos seus elementos. E esses fatores correspondem àquelas características geográficas estáticas diversificadoras da paisagem, como latitude, altitude, relevo, vegetação, solos, continentalidade, maritimidade e ação antrópica.

2.5 CHUVAS E MOVIMENTOS DE MASSA

No cenário nacional, os movimentos de massa se destacam como maiores causadores de acidentes nos aglomerados urbanos, aumentando as ocorrências, sobretudo, no período chuvoso. Diante das observações e registros do crescimento dos eventos de movimentos de massa, tanto em frequência quanto em intensidade, associados ao aumento da precipitação, houve um interesse maior em conhecer os efeitos que a água da chuva causa nas encostas. Para Corominas (2000) os estudos que relacionam os movimentos gravitacionais de massa e a pluviosidade têm aumentado em todo mundo visto que a chuva é o elemento mais importante para a deflagração de deslizamentos em várias regiões do mundo.

Vários estudos no Brasil e no exterior buscaram compreender a associação desses fenômenos, examinando por meio de expressões matemáticas a relação da

quantidade e intensidade das chuvas com a deflagração dos movimentos gravitacionais de massa. Esses estudos têm como finalidade melhorar a consistência da previsibilidade desses eventos. Para Pedrosa (1994), a maioria dos trabalhos que tratam das correlações entre deslizamentos e chuvas busca definir um limiar de chuva crítica, no qual, em geral, encontra-se atrelado à precipitação horária, à chuva diária ou à chuva antecedente, estando atreladas certas características das encostas, sobretudo, a geomorfologia, a umidade do solo, as condições de hidrologia e o uso e ocupação do solo.

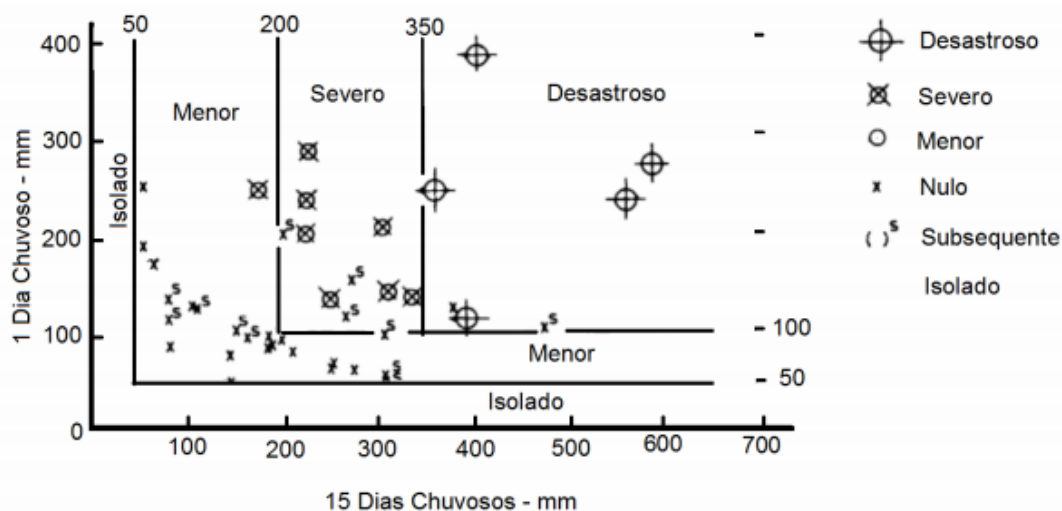
As metodologias para obtenção dos limiares críticos de chuvas são diversas e ainda não há consenso entre os pesquisadores. Os primeiros estudos nesse sentido foram desenvolvidos na década de 1970, desde então os parâmetros variam para atender a singularidade de cada região. Parâmetros como a chuva total (acumulada), a chuva antecedente ao evento e a duração e a intensidade de chuva, ou a combinação destes dados, são mais frequentemente investigados (Aristizábal *et al.*, 2010).

De acordo com Soares (2006), é necessário agrupar em categorias similares as metodologias que sugerem a associação de pluviosidade e movimentos de massa, pois há uma grande variedade de procedimentos. Portanto, pode-se classificá-los tomando em consideração aspectos como: (i) correlação da precipitação com probabilidade de deslizamentos; (ii) modelos matemáticos para previsão das variações de nível d'água do solo local; (iii) conjugação de mapas cartográficos de ocorrência de deslizamentos com mapas de isoietas; (vi) instalações de instrumentos de monitoração dos parâmetros do solo (inclinômetros, piezômetros) conjugados com instrumentos meteorológicos (pluviômetros); (v) modelos utilizando mineração de dados para aplicação na previsão de deslizamentos ocasionados por precipitação de chuva;

2.5.1 Modelos de correlação desenvolvidos internacionalmente

Em 1975, Peter Lumb analisou movimentos de massa ocorridos em Hong Kong, no período de 1950 a 1973. Em sua análise, Lumb considerou aspectos topográficos, características do solo, inclinação da encosta, tipos de ruptura e características das chuvas da região. Lumb concluiu que a correlação referente a deslizamentos com a precipitação correspondente às 24 horas do dia e dos eventos de chuvas acumuladas nos 15 dias antecedentes era o mais adequado. Por fim o autor elaborou uma classificação de forma a agrupar os escorregamentos em zonas de previsibilidade, sendo definidos quatro tipos de eventos, que podem ser definidos como deslizamentos isolados, menores ou secundários, severos e desastrosos (figura 06).

Figura 06- Correlação de chuva e categorias dos deslizamentos. Fonte: Lumb, 1975



Ainda na área de estudo em Hong Kong, Brand *et al.* (1984) concluíram que a ocorrência de movimentos de massa estava mais relacionada ao evento chuvoso de 24h, ou seja, chuva diária. Portanto concentrou-se nas chuvas maior intensidade, diferenciando do estudo de Lumb (1975).

Brand *et al.* (1984), concluíram que os fatores que controlam a relação entre pluviosidade e deslizamentos são: (i) chuvas de curta duração e alta intensidade; (ii) chuvas antecedentes de poucos dias têm papel significativo para ocorrências de deslizamentos secundários que acontecem em períodos de chuva de baixa intensidade e de curta duração; (iii) intensidade pluviométrica em torno de 70 mm/hora demonstrou ser um indicativo deflagrador de escorregamentos, sendo que a quantidade de eventos aumenta substancialmente para valores que ultrapassem este limite; (iv) as 24 horas antecedentes ao evento determinam bem a possibilidade de risco; (v) a estipulação de faixas de risco para precipitações de 24 horas, sendo que, para o estudo em questão, obteve-se para o risco secundário o estabelecimento em 100mm e, para o risco principal, em 270 mm; (vi) registros de chuvas por instrumentação sofisticada.

Premchitt *et al.* (1994) corroboram com a idéia de Brand *et al.* (1984) que as chuvas de alta intensidade são as mais determinantes para a deflagração dos movimentos gravitacionais de massa, determinado que uma chuva horária máxima de 70mm seria fator determinante na causa de uma média de 30 escorregamentos

provenientes em um universo de 551 escorregamentos. Para chuva de 24 horas cuja altura necessária para a deflagração era de 175 mm de precipitação.

Pun *et al* (2003) propuseram uma revisão nas correlações feitas por Lumb (1975), Brand *et al* (1984), Prenchitt (1991) para Hong Kong, para chuvas de 24 horas de duração com acumuladas iguais ou superiores a 100 mm, tomando recorte temporal o período de 1984 a 1996.

Concluíram que há uma razoável correlação entre as chuvas de 24 horas e a densidade de movimentos de massa registrados nas áreas suscetíveis. Este modelo de correlação se mostrou mais realista do que os apresentados por Lumb (1975) e Brand (1984), pois era considerada a quantidade de chuva como fator principal dos movimentos de massa. Pun *et al* (2003) apontaram em seu estudo que chuvas intensas de uma hora não são condições suficientes para desencadear escorregamentos. Essa correlação também indicou que chuvas antecedentes de 15 dias ou 30 dias influenciam no tamanho e na proporção dos escorregamentos, porém inalterado o número total de escorregamentos.

Para as correlações desenvolvidas na América do Sul, destaca-se a realizada por Moreno *et al.* (2006) em Antioquia, Colômbia, que estabeleceu um limite de chuva para a deflagração dos movimentos de massa por meio da compilação de uma base de dados relacionados a movimentos de massa deflagradas por chuvas, portanto, foi utilizado o método empírico capaz de averiguar a importância da chuva antecedente para estes tipos de acidentes. Foi utilizada os dados de 1, 3, 5 e 7 dias, e a chuva acumulada antecedente a esta de 5, 10, 15, 25, 30, 60 e 90 dias. Como resultado, o autor apurou que, em por causa das características dos eventos chuvosos na área de estudo, as chuvas prolongadas ou a precipitação acumulada de vários dias têm uma importância significativa na determinação dos movimentos de massa desenvolvidos neste território.

2.5.2 Estudos nacionais sobre limiares pluviométricos

Guidicini e Iwasa (1976) analisaram dados de precipitação de nove regiões em São Paulo, Ceará, Rio de Janeiro e ao sul de Minas Gerais, a fim de correlacionar chuvas e escorregamentos. Os dados de chuva utilizados são provenientes de pluviômetros, cujas leituras eram feitas nos períodos de 24h, 48h e 72h. O recorte temporal desse estudo foi de 48 anos, compreendido entre 1928 a 1976. No qual o critério de seleção adotado foi considerar somente eventos pluviométricos cuja

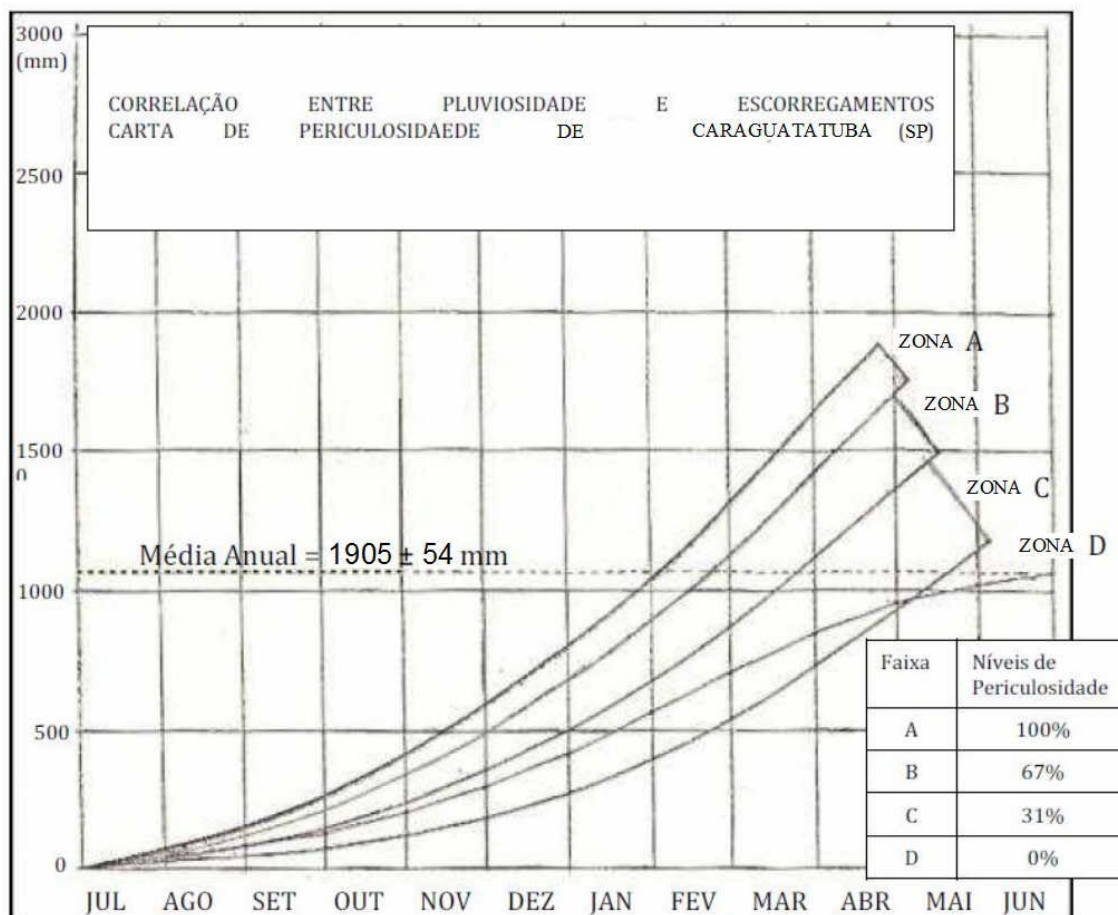
precipitação fosse igual ou superior a $130 \text{ mm} \pm 7\%$. Para uma análise global, considerando todas as regiões, foi adotado coeficiente de ciclo ou histórico da pluviosidade, composto pela razão entre a pluviosidade acumulada até a data do evento e a média anual de chuva, permite ponderar a importância da chuva antecedente.

A relação entre a chuva registrada no episódio e a média anual da pluviosidade denomina-se coeficiente do episódio, sendo que a soma representada por este termo e o coeficiente de ciclo acima descrito configura o chamado coeficiente final (figura 07).

Os autores chegaram à conclusão, ao analisarem eventos de movimentos de massa e as chuvas para as áreas de estudo, que o elemento deflagrador de escorregamentos está associado aos índices de pluviosidade que ultrapassam 12% da pluviosidade média anual em períodos de 24 a 72 horas, de forma que o risco se encontra bem demarcado pelos dados de chuvas referentes exatamente a este intervalo sinalizado entre as 24 e 72 horas antecedentes ao episódio.

O estudo de Tatizana *et al.* (1987) consistiu na análise dos eventos de chuvas de alta intensidade e movimentos de massa na Serra do Mar, especificamente nas proximidades do município de Cubatão, e se propuseram a definir o número de dias, anteriores ao evento, que influenciava na deflagração dos eventos de escorregamento. Os estudos tiveram um recorte temporal de 1956 a 1986 (30 anos), de dados de chuvas, no qual os valores deveriam ser superiores a 100 mm em 1 (um) dia, 150 mm em 2 (dois) dias e 200 mm em 3 (três) dias. Concluindo que as chuvas intensas associadas a uma alta precipitação acumulada em quatro dias têm um papel principal na determinação de eventos de escorregamentos, acarretando a desestabilização do sol.

Figura 07 – Carta de periculosidade do Rio de Janeiro (RJ). Fonte: Guidicini & Iwasa, 1976.

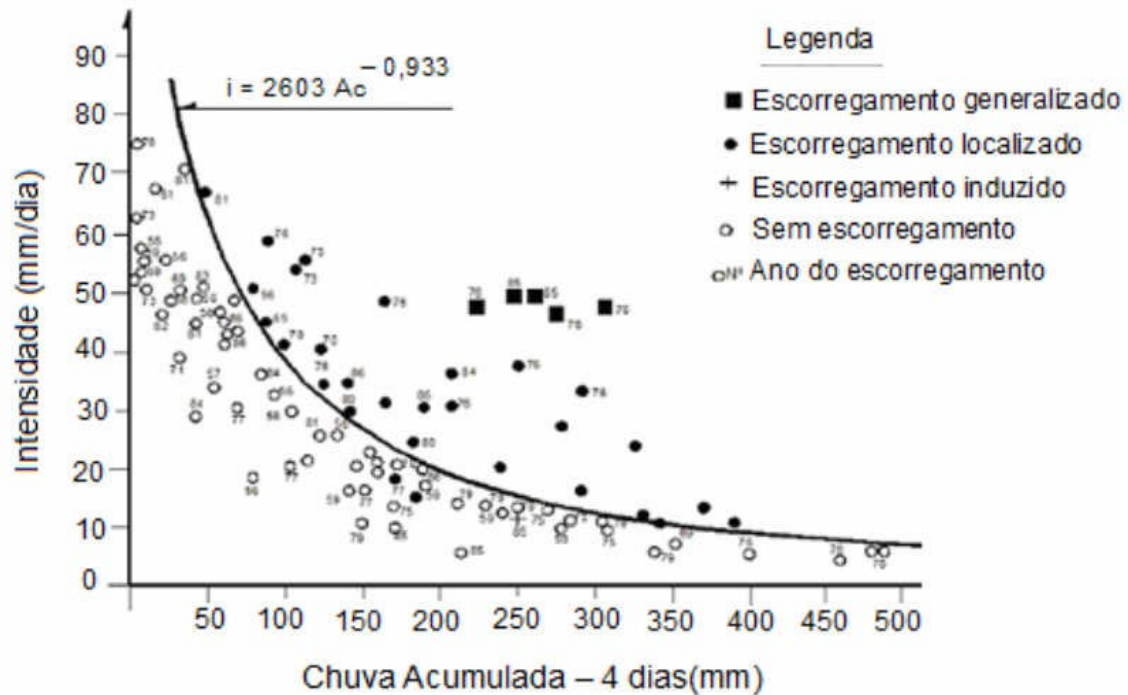


Este estudo indicou que a suscetibilidade de movimentos de massa estava diretamente relacionada a fatores morfológicos do terreno, tais como: geologia, geomorfologia, declividade, cobertura vegetal, regime pluviométrico e o posicionamento da encosta, bem como do desenvolvimento de fenômenos atrelados a ação humana. A metodologia (Tatizana *et al.*, 1987) aplica fatores específicos da área objeto do estudo, utilizando constantes obtidas empiricamente para a aplicação das fórmulas que levam ao cálculo do CPC (Coeficiente de Precipitação Crítica).

Os registros pluviométricos foram registrados em gráficos de acumuladas e intensidade horária ao longo do tempo, sendo descartados os valores inferiores a 10 mm/h. Tais representações foram definidas pelos autores como envoltórias de deslizamentos, de forma que, uma vez estando os dados lançados nestes gráficos, foi possível definir de maneira manual uma curva delimitadora entre os dados que

apresentaram ocorrências de deslizamentos daqueles em que não houve acidentes (figura 08).

Figura 08 - Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos em Serra do Mar, Cubatão – SP. Fonte: Tatizana *et al* ,1987



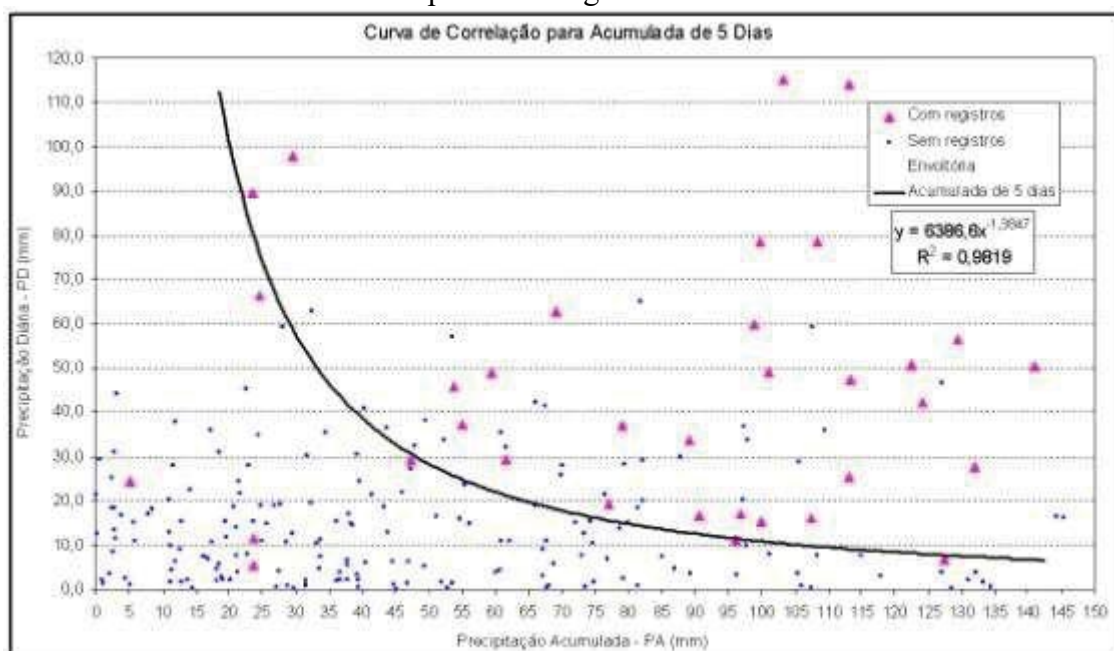
No Nordeste Brasileiro podemos destacar o estudo de Elbachá *et al.* (1992) propondo uma correlação para em Salvador (BA) no recorte temporal de 1980 até 1990, não foi encontrada correlação satisfatória entre precipitação diária e os escorregamentos estudados. Portanto, para os autores, a falta de êxito nessa correlação pode estar fortemente relacionada com as grandes alterações antrópicas decorrentes da ocupação nas encostas da cidade de Salvador.

Em Belo Horizonte (MG) no recorte temporal de 1990 até 1995 foi proposta uma correlação entre chuvas e escorregamento por Xavier (1996). O estudo evidenciou que os eventos de escorregamento estavam diretamente relacionados ao período chuvoso da cidade. Chegando a conclusão que propensão a deflagração dos escorregamentos é aumentada quando a chuva supera 30 mm acumulados em 24h, e quando esta atinge 50 mm acumulados em 48h, sobretudo no período chuvoso.

O estudo desenvolvido por Castro (2006), que analisou as metodologias já aplicadas na sua área de estudo, Ouro Preto (MG), de correlação de eventos chuvosos e

movimentos de massa. A autora investigou 417 ocorrências de escorregamentos, dentro de um recorte temporal de 1988 até 2004 e demonstrou que as chuvas acumuladas nos cinco dias antecedentes ao escorregamento são as mais importantes para a deflagração do movimento de massa. Verificou que precipitações diárias de 55 mm associadas a acumuladas pluviométricas de 129 mm em cinco dias apresentam alta probabilidade de provocar eventos de grande porte (figura 09).

Figura 09 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias para escorregamentos



Por fim, destacaremos o estudo desenvolvido por D'Orsi (2011) que propôs uma correlação de eventos de chuvas de alta intensidade e movimentos de massa na região serrana do Rio de Janeiro, ao longo da Rodovia Federal BR116 RJ, entre os quilômetros 86km e 104km. Coletando dados de movimentos de massa com base nos relatórios de obras do DNER (posto da ANTT - no km 106 da rodovia - município de Guapimirim), no banco de dados da Concessionária Rio-Teresópolis (CRT) e em fontes diversas, como periódicos, sites na internet e artigos técnicos. Já os dados de precipitação foram oriundos de registros das estações pluviométricas da CRT, da estação automática Teresópolis (A618) do INMET e da estação convencional Teresópolis (Nº. 83744), também integrante da rede de estações do INMET. (Quadro 3).

Quadro 3- Resumo do histórico de pesquisas de correlação de chuvas e escorregamento

Autor/ano	Área do estudo	Resumo do estudo
Lumb, 1975	Hong Kong	Relação entre precipitação de 24h precipitação de 15 dias, escorregamentos a partir de 50 mm.
Brand et al., 1984	Hong Kong	Limite de 100 mm/24h ou intensidade de 70 mm/h
Premchitt et al. (1994)	Hong Kong	Chuva horária máxima de 70mm é o fator determinante na deflagração de movimentos de massa
Pun et al (2003)	Honk kong	Chuvas de 24 horas de duração com acumuladas iguais ou superiores a 100 mm
Moreno et al. (2006)	Antioquia, Colômbia	Chuvas prolongadas ou a precipitação acumulada de vários dias têm uma importância significativa na determinação dos movimentos de massa
Guidicini e Iwasa, 1977	Várias cidades brasileiras	Evento com 8 a 17% da pluviosidade anula. Acima de 20% da pluviosidade anual ocorrem catástrofes.
Tatizana et al., 1987	Cubatão, SP	Relação chuva acumulada de 4 dias e intensidade do evento chuvoso.
Elbachá et al., 1992	Salvador, BA	Limite de 120 mm/4 dias
Xavier, 1996	Belo Horizonte, MG	Limite de 30 mm/24h ou 50 mm/48h
Castro, 2006	Ouro Preto, MG	Precipitações de 22 mm/5 dias para escorregamentos quaisquer; e 128 mm/5 dias para escorregamentos severos.
D’Orsi et al., 2011	Rio de Janeiro, RJ	Acumulados de 50 a 100 mm em 24h, ou intensidade de 10 a 30 mm/h; alerta máximo para precipitações >175 mm em 24h, ou intensidade >50 mm/h.

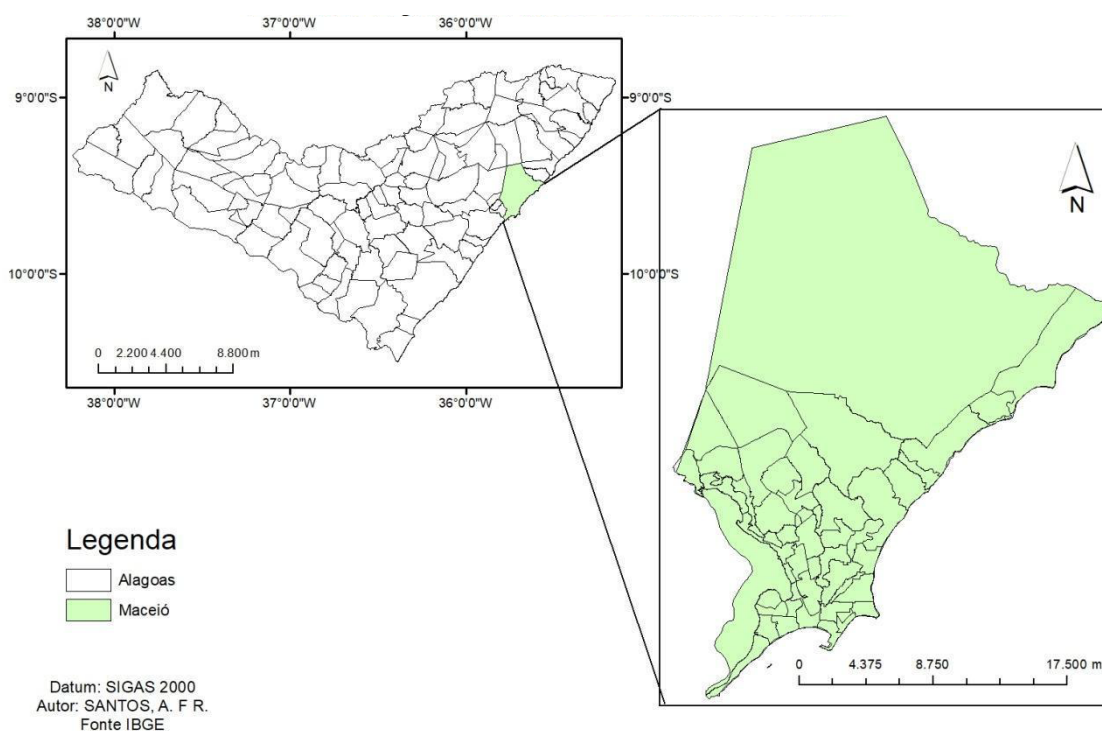
A metodologia indicou 15 combinações entre acumuladas pluviométricas, apenas a correlação entre a intensidade pluviométrica horária (mm/h) e a acumulada pluviométrica diária (mm/24h) apresentou resultados coerentes e consistentes, que permitissem o desenvolvimento de análises mais aprofundadas. Com isso, o autor destacou a possibilidade de se estabelecer zonas passíveis de ocorrência de deslizamentos. D’orsi classifica, também, as ocorrências de escorregamento em eventos simples, eventos importantes e eventos muito importantes, seguindo como orientação as informações dos boletins de ocorrência da CRT.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Maceió está situado na faixa leste do Nordeste, com área de 503,072 km² (figura 10) e população estimada de 1.012.129 habitantes, e área urbana de 233km², 99,93% da população do município está na área urbana (IBGE, 2017). Localiza-se na porção leste do Estado de Alagoas, e tem como limites ao norte, os municípios de Flexeiras, Paripueira; ao sul, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Marechal Deodoro; a oeste, Satuba, Rio Largo e Messias e a leste o Oceano Atlântico. O perímetro urbano de Maceió está dividido oficialmente em 50 Bairros, (Lei municipal 4952/2000), constituindo-se por oito Regiões Administrativas – RA.

Figura 10 – Mapa de localização de Maceió- AL



No tocante à geologia, o município está assentado em um substrato geológico de origem sedimentar pertencente à Bacia Sedimentar Alagoas. Para Araújo *et al.*, (2006) a bacia ocupa uma faixa costeira alongada de cerca de 220 km de extensão e com 40 km de largura média, limitando-se ao norte a Bacia Pernambuco, o alto de Maragogi, e ao sul o Alto de Japoatã-Penedo com a Bacia Sergipe.

A cidade de Maceió está localizada nas áreas ocupadas pelos sedimentos da Formação Barreiras (Plioceno), assentados predominantemente sobre o embasamento cristalino, porém com espessura variável. Morfoestruturalmente, a cidade possui duas unidades: os Tabuleiros Costeiros, que são caracterizados pelas suas grandes superfícies de topo plano, em forma de mesetas, recortados por vales relativamente profundos, que se apresentam ora estreitos e encaixados em forma de “V”, ora abertos e com amplas várzeas de idade quaternária. (EMBRAPA, 2012). Os Tabuleiros caracterizam-se, principalmente, pelo grande dissecamento que sofreram no passado. Caracterizados por superfícies com topos estreitos e alongados limitados por um grande número de vales estreitos e profundos. Com cotas altimétricas que variam entre 0 e 20 m na planície costeira, variando entre 20 e 180 m no topo e encostas dos tabuleiros. Contando com encostas que possuem processos erosivos acelerados e recorrentes movimentos de massa, estes, são em sua grande parte ocupados de forma irregular (MACEIÓ, 2007; SANTOS, *et al.*, 2017). E também pela planície costeira, terraços holocênicos e pleistocênicos.

Do ponto de vista da vegetação Maceió está inserida nos domínios da Mata Atlântica, com uma cobertura vegetal diversificada composta de espécies nativas e exógenas. É importante salientar a grande descaracterização da vegetação primária da zona úmida costeira, onde está inserida Maceió, pois foi cedido o lugar especialmente para o cultivo da cana-de-açúcar.

O clima de Maceió, segundo a classificação de Köppen, é identificado pelos tipos AMS' e AS'. O tipo AMS', caracteriza-se por ser tropical chuvoso. Apresenta um período chuvoso (outono/inverno) e outro seco (primavera/verão), influenciado pelo sistema de circulação intertropical que desenvolve climas controlados por massas quentes equatoriais (Centro dos Açores) e tropicais (anticiclone do Atlântico Sul). Da ação desses sistemas e da localização da área em baixas latitudes, resultam as temperaturas elevadas e precipitações abundantes. No geral, as precipitações são elevadas na planície costeira, aproximando-se de 1.800 mm.

O regime de chuvas no município está diretamente relacionado com as configurações da circulação atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos, mas também fica submetida à influência de sistemas de mesoescala, tais como os complexos convectivos e as brisas marítimas. Destes, destacam-se, as ondas de Leste, os Ventos Alísios de Nordeste e Sudeste. (SOUZA, *et al.*, 1998; MOLION; BERNADO, 2002).

A cidade de Maceió tem experimentado um acelerado processo de adensamento da sua população, sobretudo a partir de 1970, acentuando esse crescimento a partir dos anos 2000. Contudo essa população não foi distribuída de forma equilibrada no município, o crescimento desordenado agravado pela desigualdade social fez com que cada vez mais pessoas habitassem áreas impróprias para habitação, tais como encostas dos morros e os fundos de vales, normalmente com infraestrutura inadequada (CERRI, 1993; AYALA, 2002; MACEDO *et al.*, 2004; LISTO e VIEIRA, 2012).

O município de Maceió foi fundado em 1815, quando foi desmembrado do antigo município de Alagoas, atual Marechal Deodoro, posteriormente foi elevado a condição de vila, em 1816. Maceió se tornou capital da província das Alagoas em 1839 (CAMPOS; CARVALHO; TENÓRIO, 2006). A formação urbana de Maceió começou em torno do riacho Maçayó, no final do século XVIII, situado onde é hoje o atual Riacho Salgadinho, a partir da atividade econômica do engenho de açúcar, instalou-Engenho Maçayó, concentrando a população nas áreas próximas. Posteriormente, o Porto de Maceió, onde é atualmente o bairro Jaraguá, passou a ser a principal concentração populacional.

No ano de 1998, a cidade de Maceió teve a aprovação da Lei Municipal N° 4.687/98, que ampliou o seu perímetro urbano, passando de 112,5 Km² para 197,4 Km² (área atual), passando de 25 bairros no ano de 1980 para 50 bairros. A partir dos anos 2000 verificou-se um aumento significativo no número de habitantes. Para Almeida *et al.* (2015), o processo de urbanização da cidade de Maceió é semelhante ao da maioria das capitais brasileiras, sendo associado a problemas nos sistemas de infraestrutura, alteração do ciclo hidrológico e ocupação urbana.

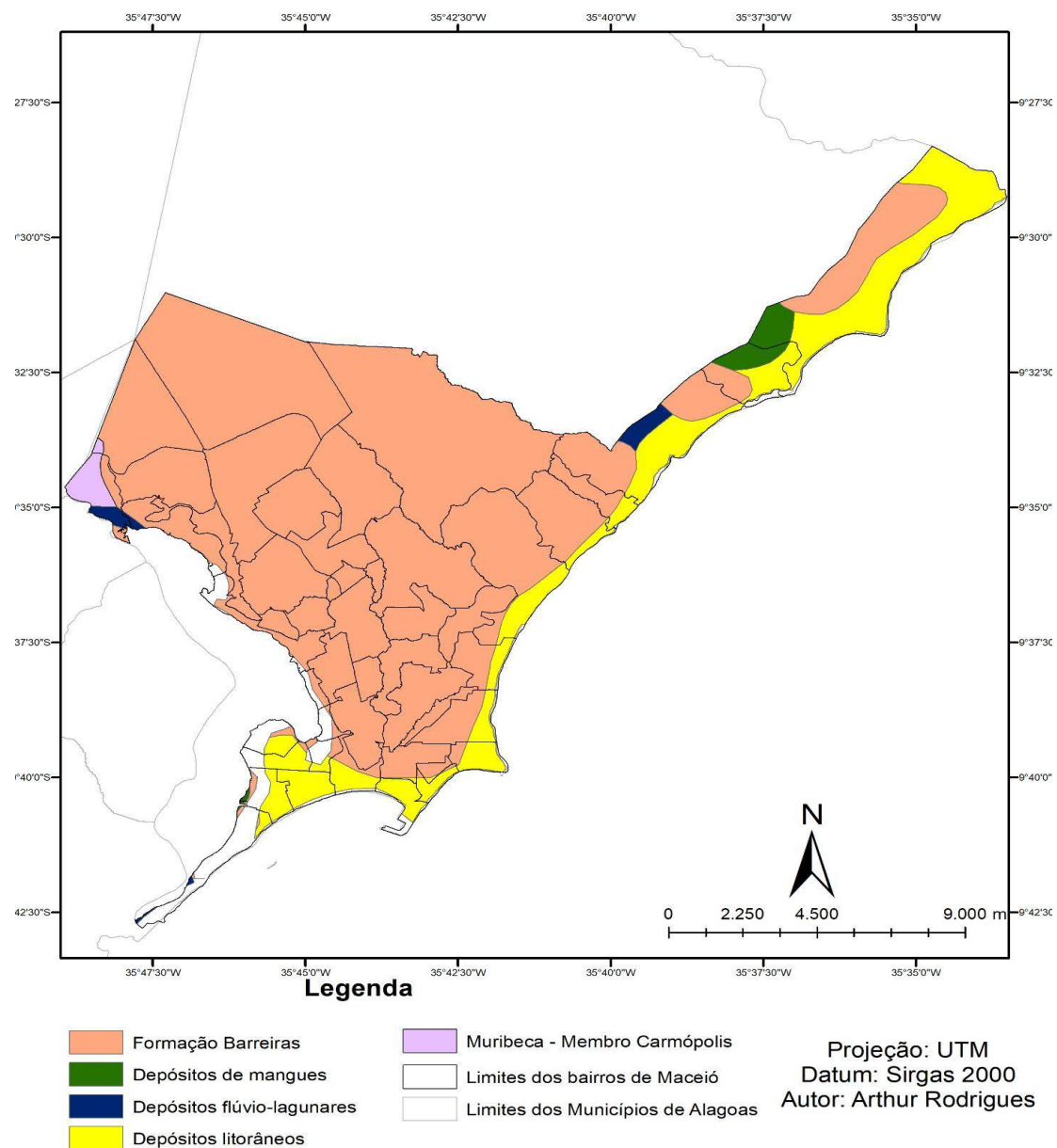
3.2 MAPAS TEMÁTICOS DE MACEIÓ

A partir do levantamento e análise de produtos desenvolvidos para o município de Maceió, foram elaborados mapas temáticos para o território do município, com objetivo de caracterizar o seu meio físico, servindo de base para avaliações diante dos processos de chuva.

Para Araújo *et al.* (2006), a Bacia Alagoas assenta sobre rochas do embasamento, e sua história deposicional tem início no Paleozoico superior. Ao fim do Terciário e início do Quaternário foram depositados os clásticos da Formação Barreiras, que serviu de cobertura para o registro sedimentar. Desta forma, a sedimentação é

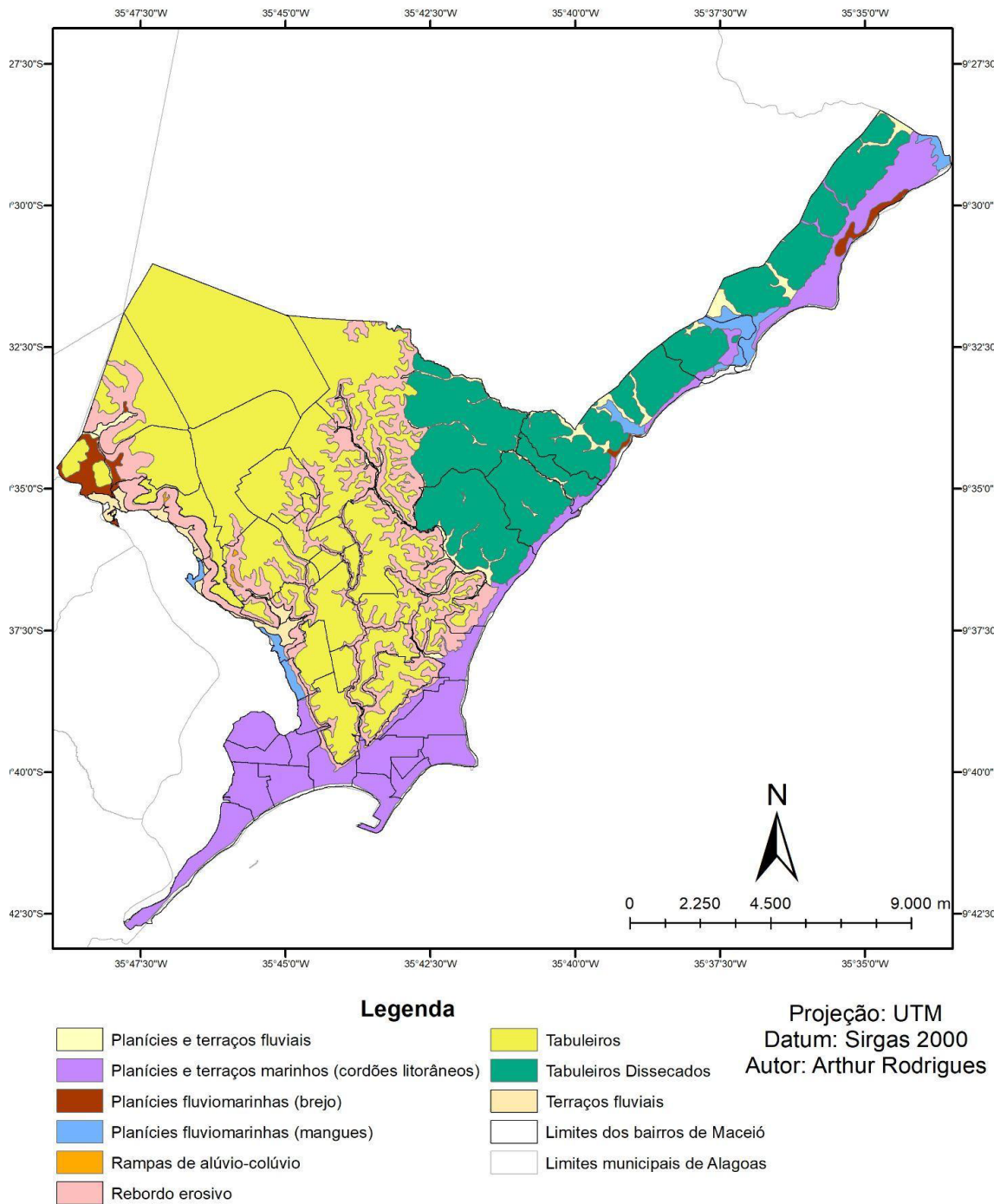
majoritariamente fluvial e ocorreu no período Terciário modelando o relevo de Maceió no formato de Tabuleiros com espessuras que variam de 20 a 100 m, (Formação Barreiras). Os declives nestes tabuleiros mostram-se acentuados e vertendo para a linha da costa ou planície costeira (MACEIÓ, 2007). Destaca-se a Formação Barreiras para este estudo, visto que a maior parte dos eventos acontece formação. Mapa Geológico, escala 1:100.000 (figura 11).

Figura 11 – Mapa das unidades geológicas de Maceió. Fonte CPRM (2012).



A geomorfologia é um fator importante nos estudos de processos de movimentação e da definição dos perigos de movimento de massa. No mapa de padrões de relevo, observam-se 12 classes de relevo distribuídas pelo território do município. Analisando a figura 17, nota-se uma grande presença de tabuleiros, morros altos e tabuleiros dissecados, além de um trecho notável de rebordos erosivos na parte norte/nordeste do município. Padrões de relevo mais suaves como planícies costeiras, fluviais (brejos e mangues) e terraços são observados apenas na parte sul do município, trecho litorâneo, como pode ser visto no Mapa de Geomorfologia e Padrões de relevo (figura 12).

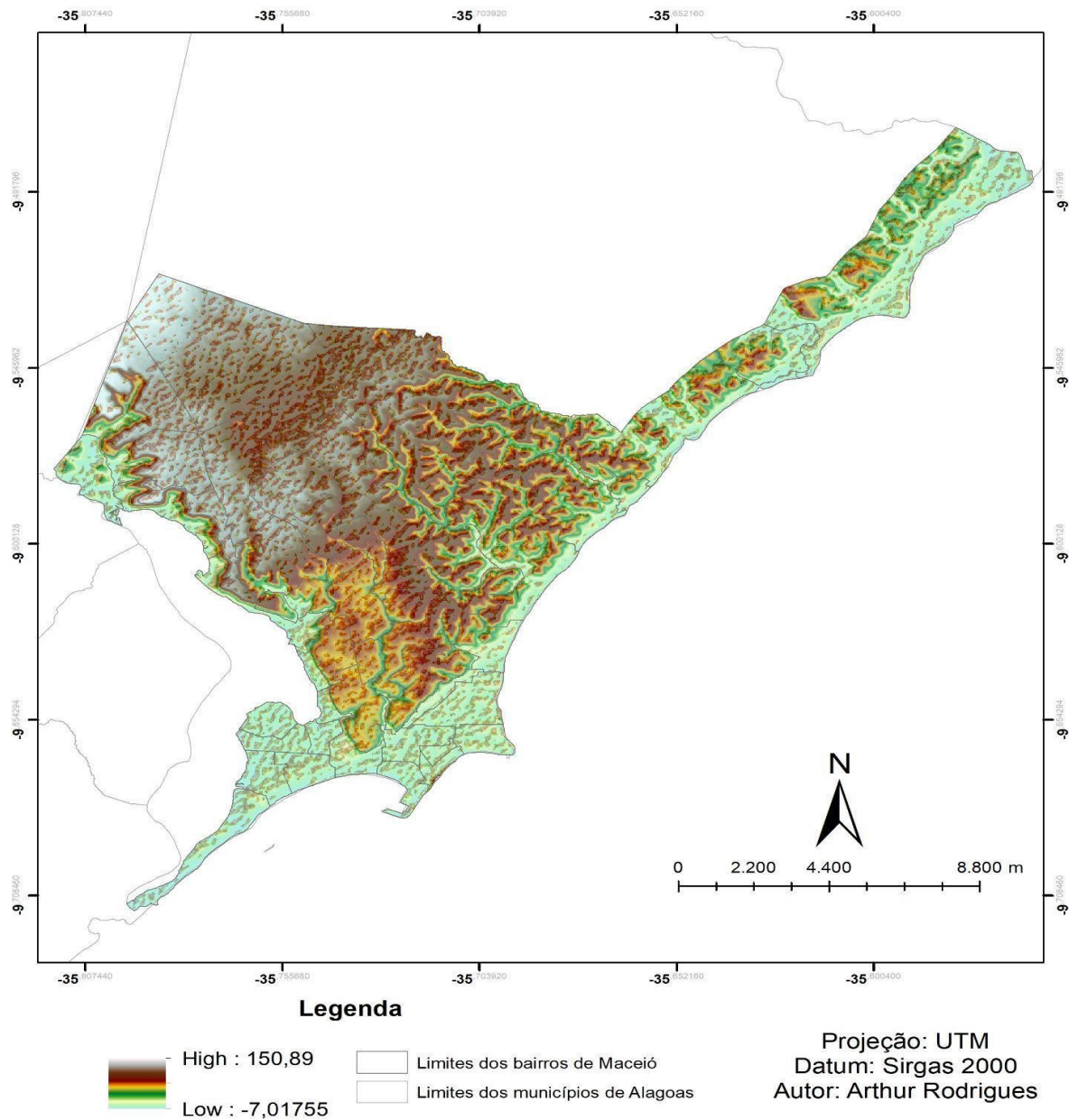
Figura 12 – Mapa de unidades de relevo de Maceió. Fonte: ALOS PALSAR



O mapa hipsométrico é um aspecto importante para o entendimento da área de estudo, visto que caracteriza as altitudes do terreno estudado, imprescindível para esse tipo de estudo. Ao analisar o mapa hipsométrico do município de Maceió (figura 13) verificam-se os maiores valores hipsométricos estão concentrados na região dos tabuleiros conservados, a norte e noroeste do município. Observam-se valores

hipsométricos intermediários nos topos dos tabuleiros dissecados, variando de 30 a 47 m, localizados no centro do município. Podem-se verificar os desnivelamentos altimétricos abruptos próximos aos canais hidrográficos e uma variação à medida que se aproxima do litoral do município.

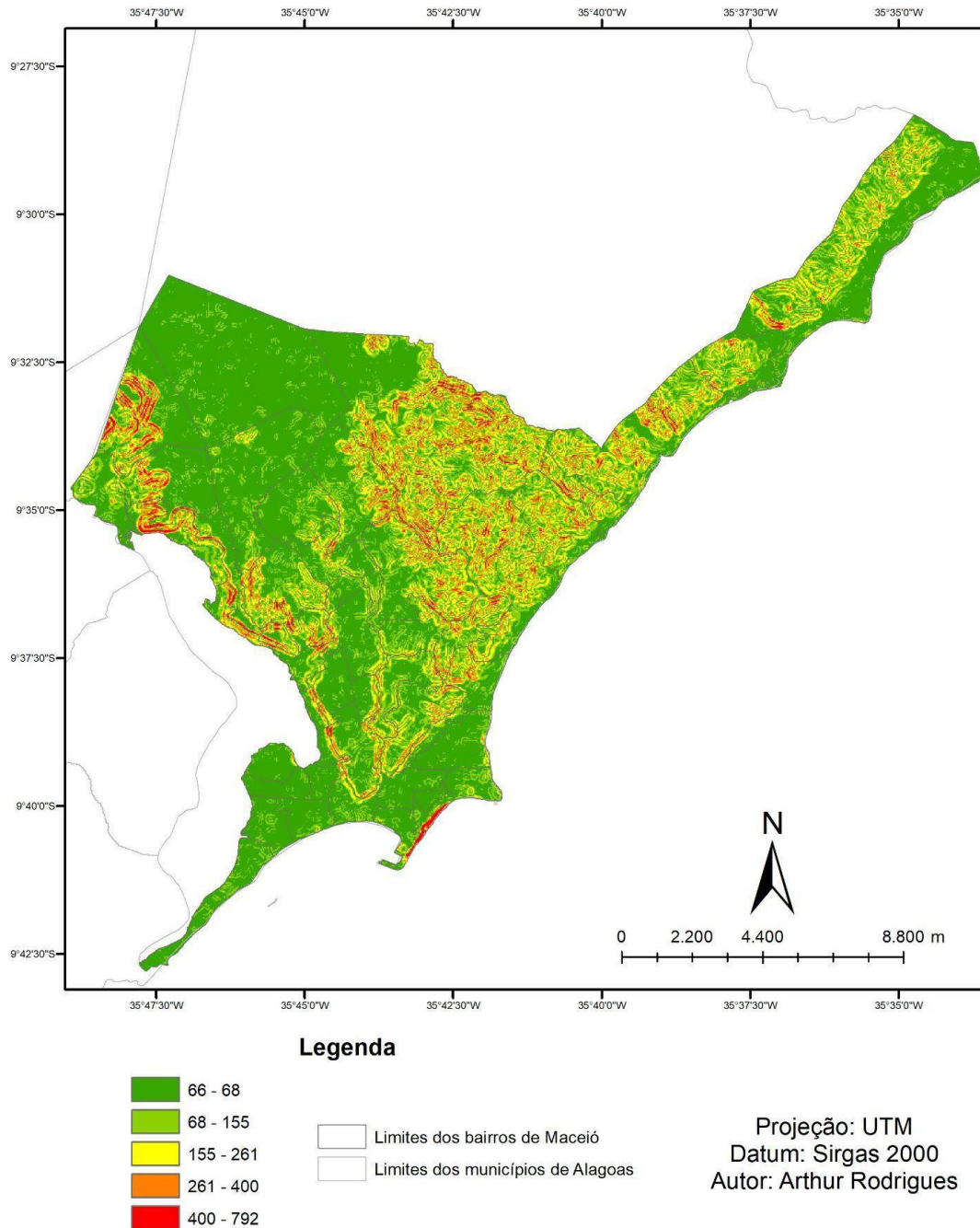
Figura 13 – Mapa hipsométrico de Maceió. Fonte: ALOS PALSAR



A figura 14 apresenta o mapa de declividade do município de Maceió, este mapa temático foi adaptado de *ALOS PALSAR* no qual foi utilizado um modelo digital de superfície (MDS). Por meio deste modelo foi inicialmente criado um mapa hipsométrico, o qual caracteriza as altitudes do terreno estudado. A partir da hipsometria do município foi traçado o mapa de inclinação, mostrando as variações das inclinações das encostas em Maceió. Por meio da avaliação da figura 19 indica uma superfície com inclinações majoritariamente inferiores a 10° , sendo a maioria destas destacadas na cor

verde por terrenos com inclinação suave entre 5 e 10°. São notados também terrenos com inclinações mais elevadas distribuídas na zona rural do município, a nordeste do mapa, porém também destacado em bairros com urbanização recente no município.

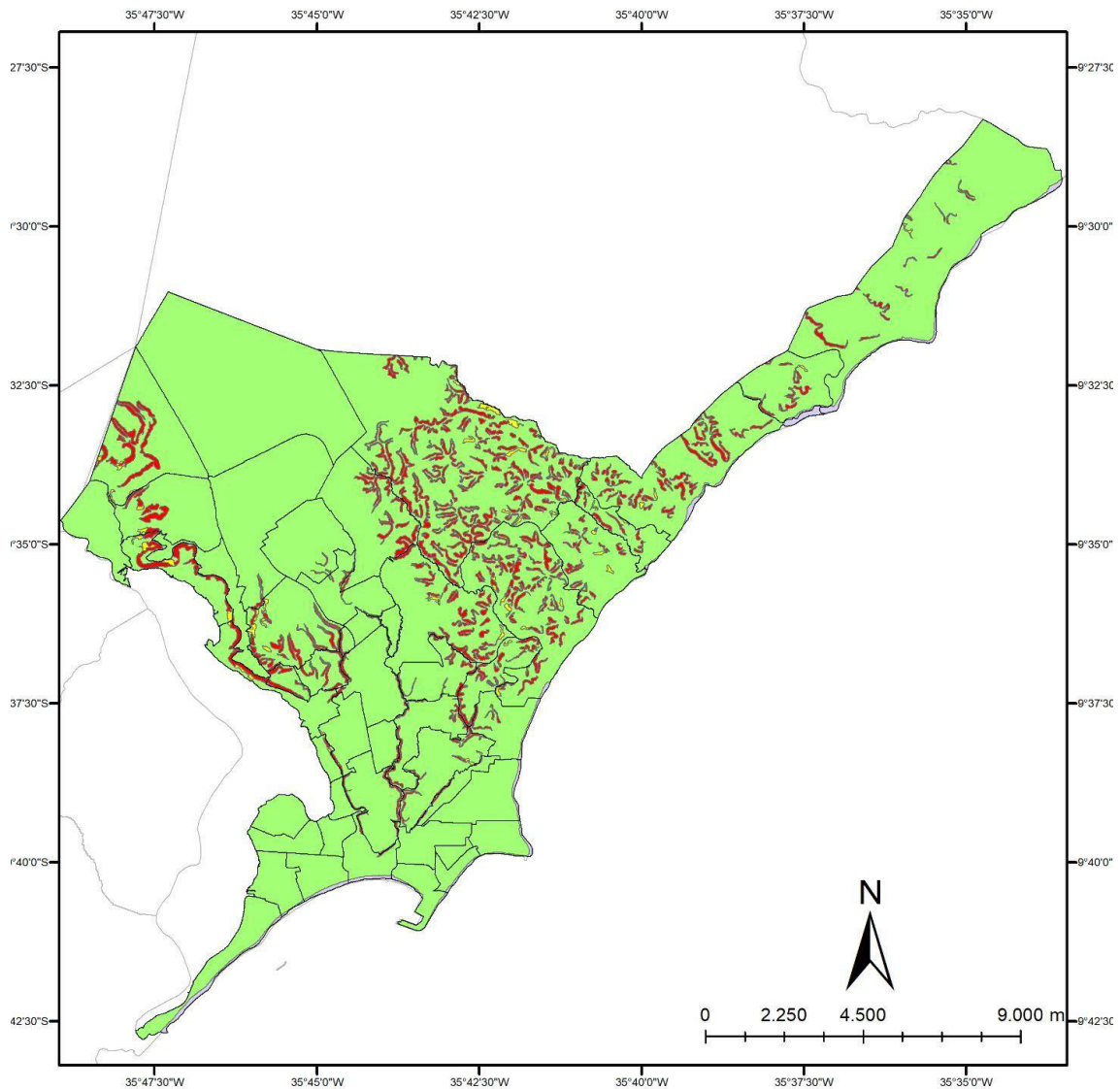
Figura 14 – Mapa de declividade de Maceió. Fonte: ALOS PALSAR



O mapa de suscetibilidade (Figura 15) foi desenvolvido a partir de uma análise sistêmica dos aspectos geomorfológicos (hipsometria, inclinação, padrões de relevo,

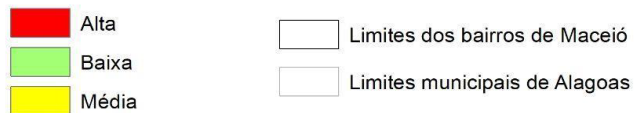
cicatrizes de escorregamentos já ocorridos, aspectos hidrológicos e geológicos) (CPRM, 2012). Com base nos aspectos levantados para o terreno, foram delimitadas áreas com suscetibilidade a processos de movimentos gravitacionais de massa e classificadas a intensidade da suscetibilidade em Baixa, Média ou Alta. Ao observar o mapa, aponta-se a predominância de áreas classificadas como baixa suscetibilidade para processos de movimentação de massa. Porém a classificação média e alta está distribuída ao longo da parte nordeste do município, em destaque os bairros que tem uma grande densidade populacional.

Figura 15 – Mapa de suscetibilidade de movimento de massa em Maceió. Fonte: CPRM, 2012.



Legenda

Classes de suscetibilidade

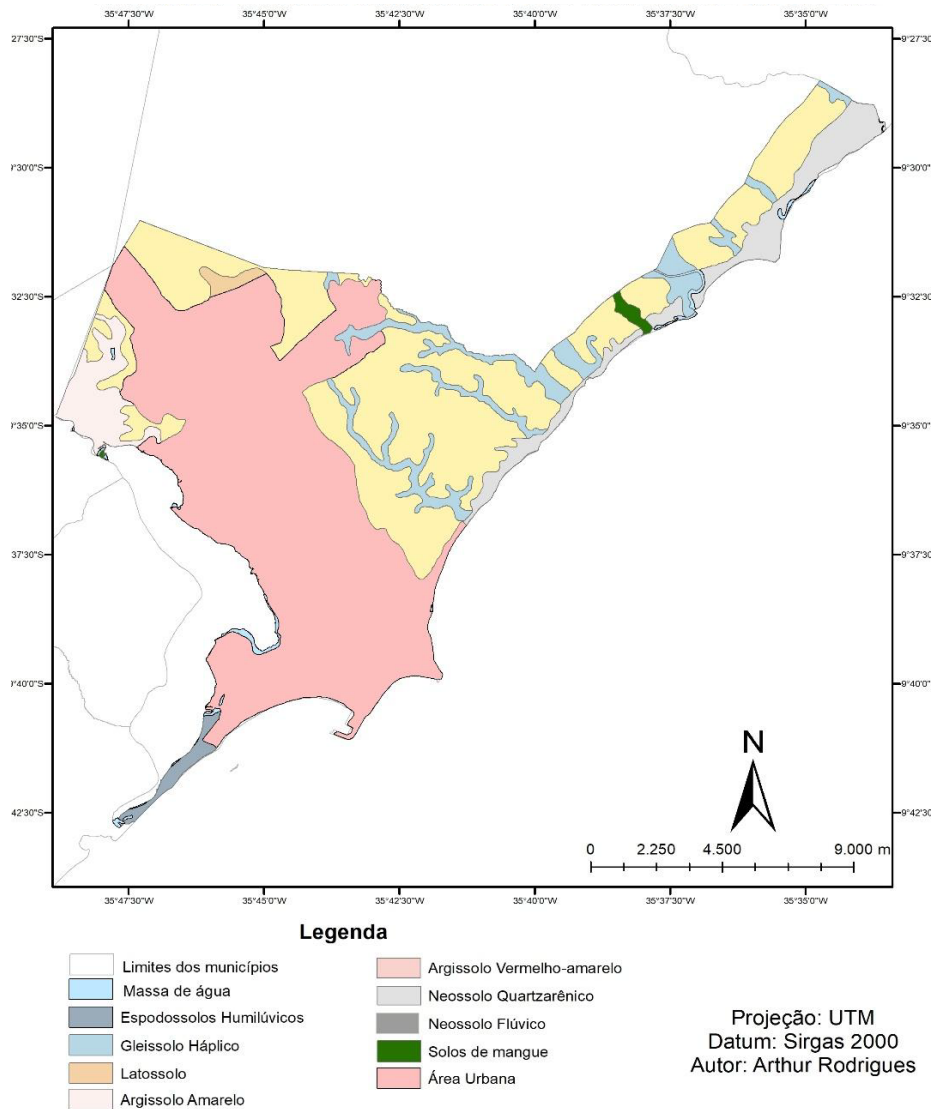


Projeção: UTM
Datum: Sirgas 2000
Autor: Arthur Rodrigues

A figura 16 apresenta as classes de solos predominantes no município de Maceió, destacados os solos da Formação Barreiras, de uma forma geral são denominados de solos de tabuleiro, apresentando material de origem pré-intemperizado, retrabalhado e que sofreu mudanças climáticas durante a pedogênese. Apresentando texturas de solo (argilosos e arenosos) aumenta a suscetibilidade a movimentos de massa. Destacado também a presença dos Argissolos, que assim como os Latossolos,

apresentam bastantes sedimentos da Formação Barreiras, com textura que varia de arenosa/média até média/muito argilosa. Possuem uma diferença de textura entre o horizonte superficial A e o de subsuperfície B textural (Bt), com acúmulo pronunciado de argila. Essas características conferem uma maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa (EMBRAPA, 2012).

Figura 16 – Mapa de classes de solos de Maceió. Fonte: ZAAL/Embrapa



O risco, compreendido como a probabilidade da ocorrência de uma ameaça, delimitada no tempo e no espaço, para um determinado meio exposto é a combinação desses fatores naturais acima citados, com a ocupação do espaço urbano do município. Por isso, é necessária uma análise sistêmica das informações temporais e de meio físico que interferem diretamente nas encostas do município, utilizando as informações disponíveis para compreender tais fenômenos.

3.3 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo, semelhante à desenvolvida por Tatizana *et al* (1987), foi a utilização de dados históricos de precipitação contendo informações de leituras diárias e dados diários de ocorrências de escorregamentos, ambos no período de 2018 a 2020, fornecidos pela Defesa Civil e pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), respectivamente.

Este estudo foi desenvolvido em duas etapas: (i) **coleta de dados**: levantamento dos dados sobre escorregamentos e dos dados pluviométricos, sendo criado um cadastro. (ii) **correlação entre escorregamento e pluviosidade**: verificação da quantidade de dias de chuva acumulada na deflagração dos escorregamentos e, por fim, determinação da correlação.

3.3.1 Aquisição de dados

Os levantamentos de dados dos escorregamentos e da pluviosidade ocorrem de forma a coincidir as datas e locais, devido à interdependência entre estes dados. De tal forma que a principal fonte de coleta de dados foram os registros de ocorrências na defesa civil do município. O período de estudo do trabalho abrange o período de 2018 a 2020, portanto é importante que a coleta dos dados tanto de precipitação quanto de escorregamento dentro desse período.

Quanto aos dados de movimentos de massa, o levantamento dos dados foi realizado com apoio das informações fornecidas pela Defesa Civil, complementado pelas informações obtidas na mídia. Para tal a coleta dos dados para o cadastro seguirá os seguintes procedimentos: (i) Levantamento das ocorrências atendidas pela Defesa civil, selecionando apenas aquelas relacionadas a movimentos de massa; (ii) Verificação das datas e locais das ocorrências para certificação que foram atendidas na área de estudo;

O quadro 4 apresenta os escorregamentos que foram analisados neste trabalho, assim como o local das ocorrências. Obtidas por meio da Defesa Civil do município, com todas as ocorrências cadastradas no período de estudo.

Quadro 4 - Data e localização dos escorregamentos possivelmente ocasionados pela chuva em Maceió. Fonte: Elaborado pelo Autor, dados da Defesa Civil

DATA	BAIRRO	LOGRADOURO
03/03/2018	CHÃ DA JAQUEIRA	CONJUNTO JOÃO PEREIRA
07/06/2018	CHÃ DA JAQUEIRA	GROTA JOSÉ MIGUEL
13/02/2019	ANTARES	RUA BOM JESUS
13/02/2019	IPIOCA	RUA MONTEIRO LOBATO
01/02/2019	CHÃ DA JAQUEIRA	RUA CAPITÃO LEITE
26/02/2019	GARÇA TORTA	SITIO ANDRAUJO
16/04/2019	IPIOCA	TERCEIRA TRAVESSA, PE ANCHIETA CASA 5
23/04/2019	BENEDITO BENTES	RUA GRAUNA
18/06/2019	FEITOSA	RUA NOEMIA MAGALHAES DE OLIVEIRA
01/07/2019	JACINTINHO	RUA PROTOGINE AÍRES MOURA
16/07/2019	SÃO JORGE	SITIO SÃO JORGE
01/07/2019	JACINTINHO	MORRO DO ARI
01/07/2019	JACINTINHO	RUA PROTOGINE AÍRES MOURA
18/06/2019	CHÃ DA JAQUEIRA	RUA PREFEITO JOATAS MALTA DE ALENCAR
18/12/2019	CHÃ DA JAQUEIRA	TRAVESSA FLORESTAL
18/12/2019	CHÃ DA JAQUEIRA	TV. FLORESTAL
26/04/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	VILA ALMEIDA
26/04/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	VILA ALMEIDA
01/05/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	RUA PREF. JONATAS MALTA DE ALENCAR
03/05/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	GROTA SANTA HELENA
04/05/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	GROTA SENHOR DO BONFIM
14/06/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	AV. MONTE CASTELO
05/08/2020	CHÃ DA JAQUEIRA	TRAVESSA FLORESTAL
22/04/2020	MANGABEIRAS	RUA ANTONIEL COSTA
31/05/2020	BENEDITO BENTES	RUA AIDA FERRARIO CARVALHO LOBO
31/05/2020	BENEDITO BENTES	RUA SÃO JORGE
31/05/2020	BENEDITO BENTES	RUA SÃO JORGE
31/05/2020	BENEDITO BENTES	RUA SÃO JORGE
31/05/2020	BENEDITO BENTES	RUA SÃO JORGE
04/06/2020	GUAXUMA	RUA VALE VERDE
19/08/2020	JACINTINHO	RUA FREI DAMIÃO

3.3.2 Arquivamento das informações coletadas.

Houve uma triagem inicial nas informações coletadas, evitando assim os acidentes não relacionados diretamente à precipitação. Nos casos em que foi identificado que o rompimento se deu por falhas na construção civil, rompimento de

tubulações de água e esgoto, escavações ou cortes inadequados do terreno, entre outros, a ocorrência foi excluída.

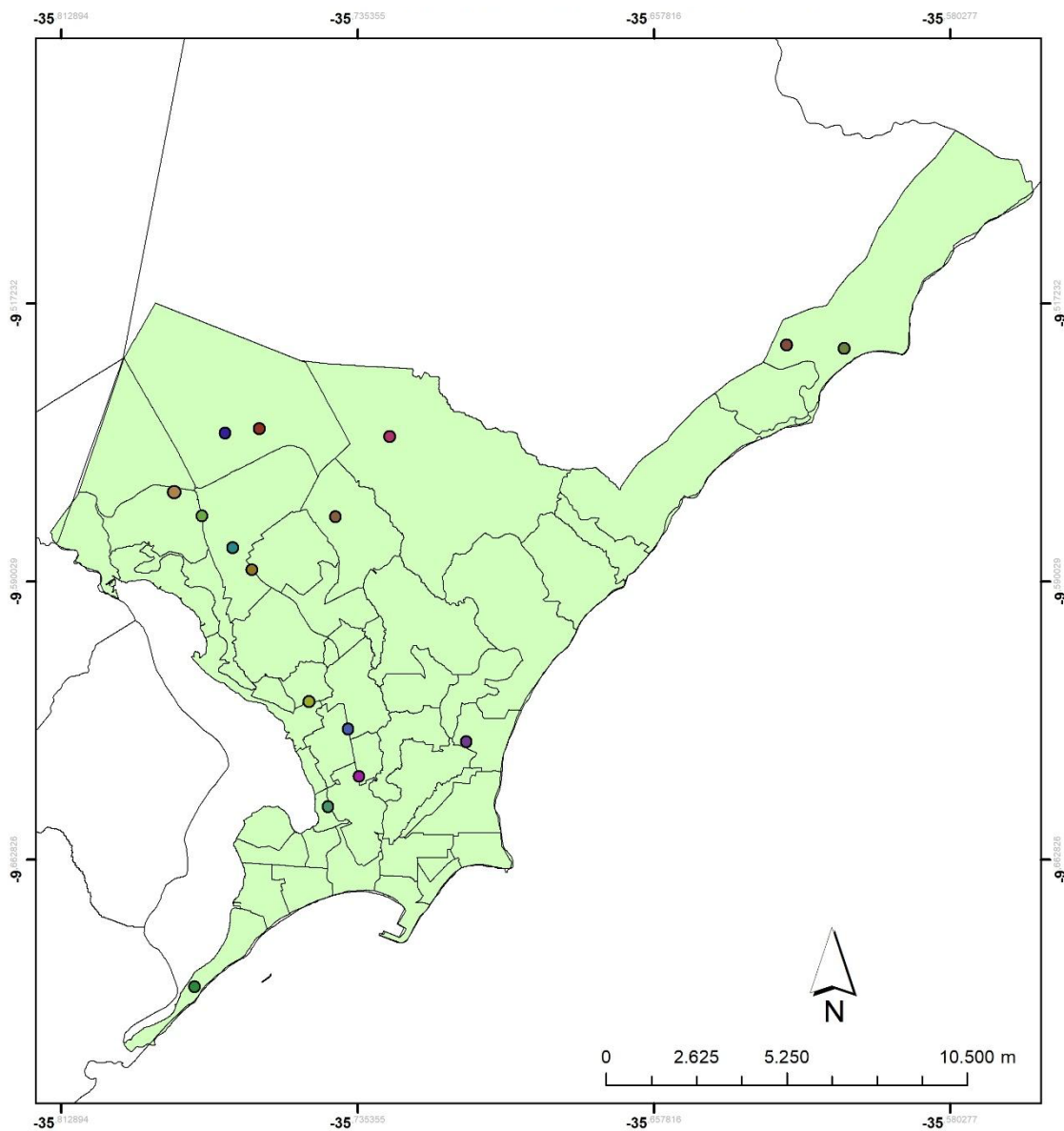
Para os dados de precipitação, foi realizada uma análise climatológica, obtendo-se médias da precipitação acumulada mensal no período estudado. Em adição, para classificar a distribuição de precipitação diária em categorias de cada mês, considerando somente os dias com chuva e classificando conforme os limiares de precipitação associada.

Ao todo foram consultados os dados de 16 pluviômetros localizados no município de Maceió. Estes dados de pluviosidade foram adquiridos junto ao CEMADEN, na qual foram medidas as precipitações diárias e as precipitações acumuladas para a realização do estudo. O quadro 5 apresenta a relação dos pluviômetros acessados e suas respectivas localizações, bem como o órgão responsável pelo monitoramento, na figura 17 estão a localização geográfica das estações pluviométricas consultadas.

Quadro 5. Localização de pluviômetros em Maceió. Fonte: CEMADEN, elaborado pelo autor. Fonte: Elaborado pelo Autor

NOME	LATITUDE	LONGITUDE	ÓRGÃO
Tabuleiro	-9.551	-35.770	INMET
Maceió	-9.566	-35.783	DNOCS
Cambona	-9.648	-35.743	CEMADEN
Cruz das Almas	-9.631	-35.706	CEMADEN
Antares	-9.573	-35.741	CEMADEN
Ipioca 2	-9.528	-35.623	CEMADEN
Usina de Processamento de Asfalto	-9.572	-35.776	CEMADEN
Cidade Universitária	-9.549	-35.761	CEMADEN
Chã da Jaqueira	-9.621	-35.748	CEMADEN
Farol	-9.641	-35.735	CEMADEN
Tabuleiro do Martins	-9.586	-35.763	CEMADEN
Farol 2	-9.628	-35.737	CEMADEN
Trapiche da Barra	-9.696	-35.778	CEMADEN
Benedito Bentes I	-9.551	-35.726	CEMADEN
Ipioca 1	-9.528	-35.608	CEMADEN
Tabuleiro do Martins 2	-9.581	-35.768	CEMADEN

Figura 17 – Distribuição das estações pluviométricas em Maceió. Fonte: CEMADEN. Elaborado pelo autor.



Legenda

- | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|
| ● Maceió | ● Maceió - Cruz das Almas | ● Maceió - Trapiche da Barra |
| ● Maceió - Tabuleiro | ● Maceió - Farol | ● Maceió - Usina de processamento de asfalto |
| ● Maceió - Antares | ● Maceió - Farol 2 | □ Limites municipais de Alagoas |
| ● Maceió - Benedito Bentes I | ● Maceió - Ipioca 1 | ■ Área urbana de Maceió |
| ● Maceió - Cambona | ● Maceió - Ipioca 2 | |
| ● Maceió - Chã da Jaqueira | ● Maceió - Tabuleiro do Martins | |
| ● Maceió - Cidade Universitária | ● Maceió - Tabuleiro do Martins 2 | |

Datum: SIGAS 2000
 Autor: SANTOS, A. F. R.
 Fonte CEMADEN

3.3.3 Correlação entre escorregamento e pluviosidade

Para relacionar a precipitação com os eventos de escorregamentos, foi aplicada a metodologia dos gráficos de envoltórias às séries de dados diários tratados, onde são conjugados os valores acumulados de precipitação em um dia com a precipitação acumulada em dias antecedentes, sendo considerado o acumulado de dois, três, quatro e cinco dias consecutivos. Para isso, foram construídas séries de precipitação somando os totais registrados em 24, 48, 72 e 96 e 120 horas. Em seguida, foram separados os dias de precipitação com ocorrências de deslizamento. Assim, obteremos dois conjuntos de dados: o primeiro contendo as precipitações acumuladas em um, dois, três e quatro e cinco dias, sendo esses resultados considerando o registro de chuva, e o segundo, apenas para os dias de ocorrência.

Neste estudo, foram testados no máximo cinco dias consecutivos de precipitação, buscando investigar a importância da ocorrência de chuvas intensas em períodos curtos, para a deflagração de escorregamentos. Foram gerados diferentes diagramas de dispersão dos dados de precipitação acumulada em um dia, comparado com a precipitação acumulada em dois, três e quatro e cinco dias, considerando diferentes critérios de limites de precipitação semelhante à proposta metodológica de Tatizana *et al.* (1987).

Para a confecção dos diagramas, foram plotados os pontos com e sem escorregamentos pela data de sua ocorrência para cada dia do período escolhido para o estudo de correlação. Por meio destes diagramas buscou-se estabelecer um valor limite de precipitação que inicia o processo de movimentação e o menor número de dias de chuva acumulada que influencia no desencadeamento dos escorregamentos.

A partir do entendimento do número de dias de chuvas acumuladas que mais influenciam nos processos de escorregamento, foi determinada a relação matemática entre a quantidade de precipitação e os escorregamentos, por meio da construção de um gráfico da chuva acumulada pela chuva diária do dia da ocorrência. Para a construção deste gráfico, utilizou-se o valor da precipitação em 1 dia correlacionando-o com a precipitação acumulada dos dias testados (2, 3, 4 e 5 dias), excluindo-se o valor da precipitação do dia da ocorrência. Essa relação demonstra de maneira quantitativa o grau de suscetibilidade aos processos.

Para a elaboração do gráfico de correlação foram utilizadas planilhas eletrônicas, no qual estão os dados de escorregamentos escolhidos para as análises.

Primeiramente, foram feitos gráficos utilizando todas as ocorrências registradas em seguida foi traçada uma curva que mostrou a melhor separação entre estes pontos, ou seja, uma linha de tendência foi desenhada tangenciando o maior número de pares de pontos pluviométricos referentes a escorregamentos que apresentassem os valores mais baixos e, ao mesmo tempo, evitando-se o maior número de par de pontos pluviométricos sem registros de ocorrências associados. Por fim, foi estabelecida a sua equação representativa. Esta equação demonstra a relação numérica entre as variáveis precipitação acumulada e precipitação diária para deflagração dos escorregamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

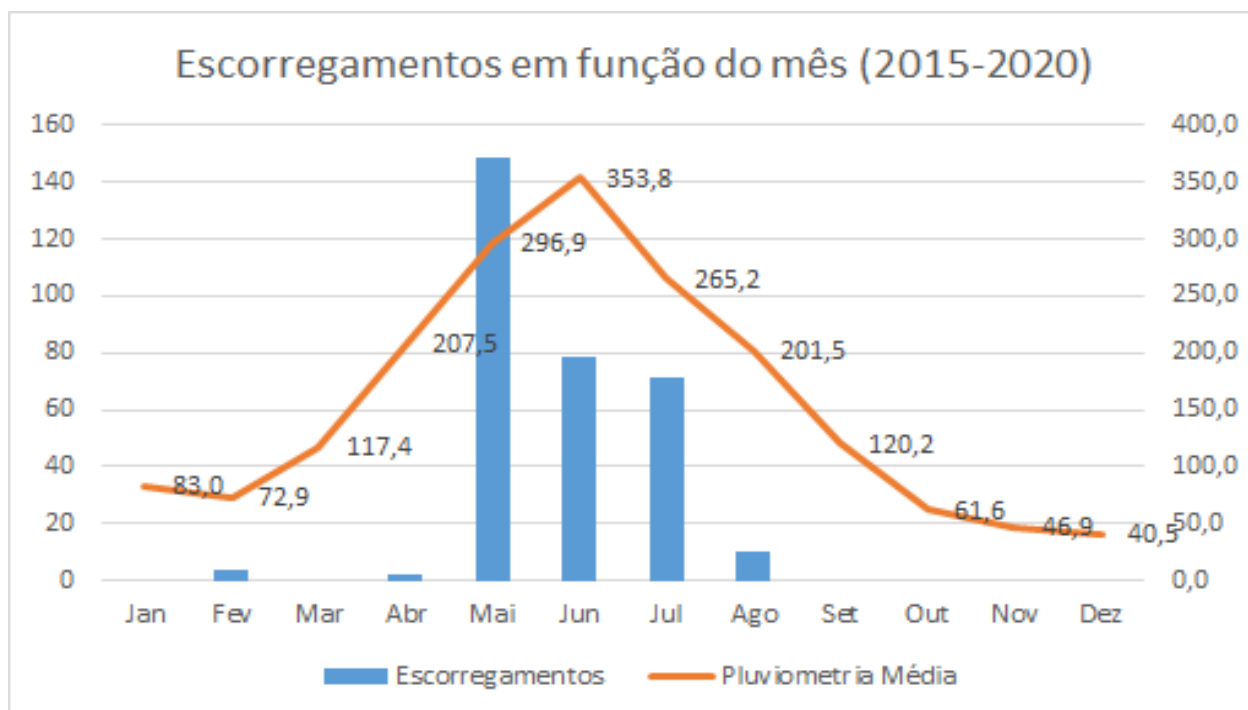
4.1 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS DADOS

Após a aquisição dos dados pluviométricos e escorregamentos registrados, foi necessário estabelecer as datas que ocorreram os eventos de escorregamento, para que fosse possível realizar a análise da correlação dos escorregamentos em relação aos eventos chuvosos., ao longo do espaço temporal escolhido para realizar o estudo.

A figura 18 apresenta a distribuição dos escorregamentos em função do mês de evento. Após a triagem inicial do cadastro foi realizada com exclusão de todos os registros de inundação, erosão e possibilidade de escorregamentos os dados apontaram 315 ocorrências registradas pela Defesa civil do município, destas ocorrências cerca de 95% sucederam-se nos meses mais chuvosos, Maio, Junho e Julho.

O gráfico apresenta as médias mensais de chuvas no município, permitindo realizar a correspondência entre as ocorrências e a pluviosidade apontando Maio como o mês que historicamente apresentou maior número de ocorrências na região.

Figura 18 – Distribuição dos escorregamentos e pluviometria registrados



A análise dos dados levantados na região permitiu ainda, identificar as localidades com maiores números de escorregamentos, possibilitando ter indicações sobre áreas mais susceptíveis aos processos. Destacam-se os bairros: Chã da Jaqueira, Antares, Ipioca, Garça Torta, Feitosa, São Jorge, Mangabeiras, Benedito Bentes, Guaxuma e Jacintinho.

4.2 ANÁLISE DO NÚMERO PLUVIOSIDADE ACUMULADA MAIS EFETIVA NOS PROCESSOS DE ESCORREGAMENTOS

Para definir o número de dias de chuva que influencia efetivamente nos escorregamentos nas áreas urbanas de Maceió, foram elaborados gráficos de dispersão para valores acumulados de precipitação de 1 a 5 dias. Neste gráfico foi realizado o cruzamento das datas das ocorrências com o valor da chuva acumulada dos dias antecedentes das ocorrências, assim como, os dados pluviométricos acumulados que não causaram escorregamentos. A fim de estabelecer o número de dias, com separação mais nítida dos pontos que houveram escorregamentos e dos que não houveram, para enfim estabelecer a quantidade de dias de chuva acumulada mais efetiva no desencadeamento dos eventos.

As figuras 18, 19, 20, 21 e 22 a seguir apresentam os gráficos de dispersão no qual foram baseados na metodologia de Tatizana *et al.* (1987), também utilizada por Elbachá *et al.* (1992), Ide (2005) e Castro (2006). Neste estudo foram utilizados todos os dados de chuva com registros de escorregamentos, diferentemente de outros estudos que estabeleceram precipitações diárias mínimas para considerar o evento.

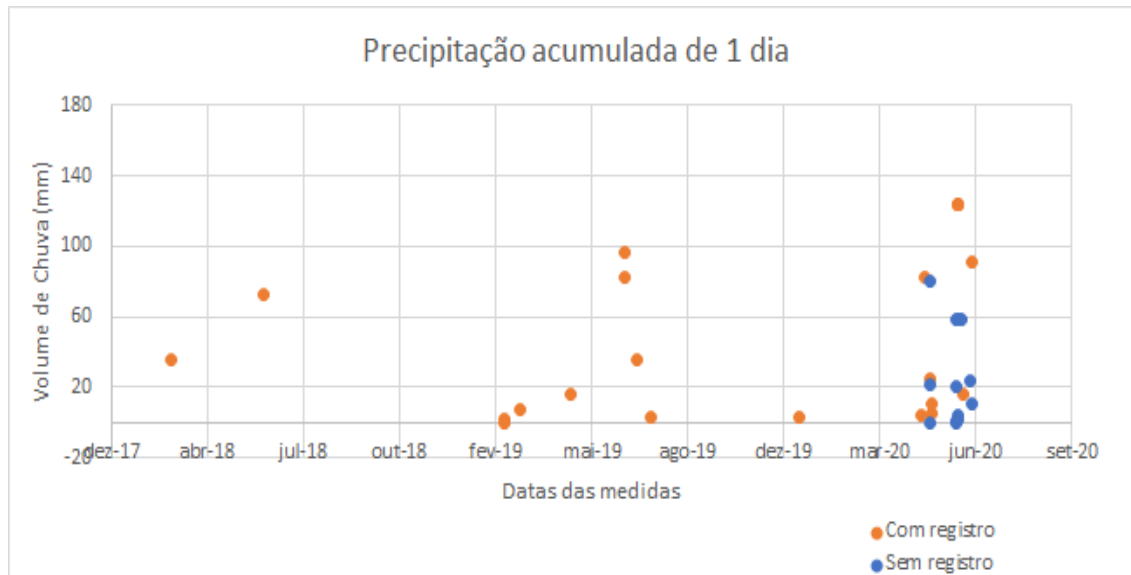
Por meio da análise dos gráficos pode-se inferir que há uma grande dispersão dos eventos de escorregamento em todos os dias de chuva acumulada analisados, com muitos destes associados a valores próximos de zero milímetros de precipitação.

Conforme a metodologia aplicada por Castro (2006), a partir da separação de faixas em cada ano analisado, foi estimado o valor mínimo de precipitação para a deflagração dos escorregamentos. O critério utilizado para interpretação foi subjetivo, visto que a aplicação de um critério matemático não seria possível devido à irregularidade de comportamento dos eventos de escorregamentos.

Portanto, foi analisado em caráter visual os gráficos. levando em consideração o primeiro gráfico de dispersão que utilizou os dados de precipitação de 1 dia acumulado, ou seja, 24 horas, pode-se verificar uma grande variabilidade do valor de precipitação

acumulado que culminou em um escorregamento, mostra-se uma concentração das ocorrências com menos de 50 mm de chuvas, logo podemos aferir que os acidentes associados que a esse período analisado estão mais associados a outros fatores, tais como: geologia, geomorfologia, pedologia e ação antrópica, sendo este último de influência bastante relevante para a aceleração dos processos.

Figura 18 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 1 dia. Elaborado pelo autor.



Já o gráfico de dispersão que analisa os dados de precipitação de 2 dias acumulados, ou seja, 48 horas, apresenta ainda uma grande difusão dos milímetros acumulados que geraram escorregamento, assim como o gráfico anterior. Portanto não é possível associar diretamente às ocorrências devido à grande dispersão dos dados, pode-se considerar o fato de que os valores acumulados de chuva muito baixos normalmente estão associados a escorregamentos circunstanciais no qual a precipitação possivelmente não é o principal agente desencadeador.

Figura 19 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 2 dias. Elaborado pelo autor.

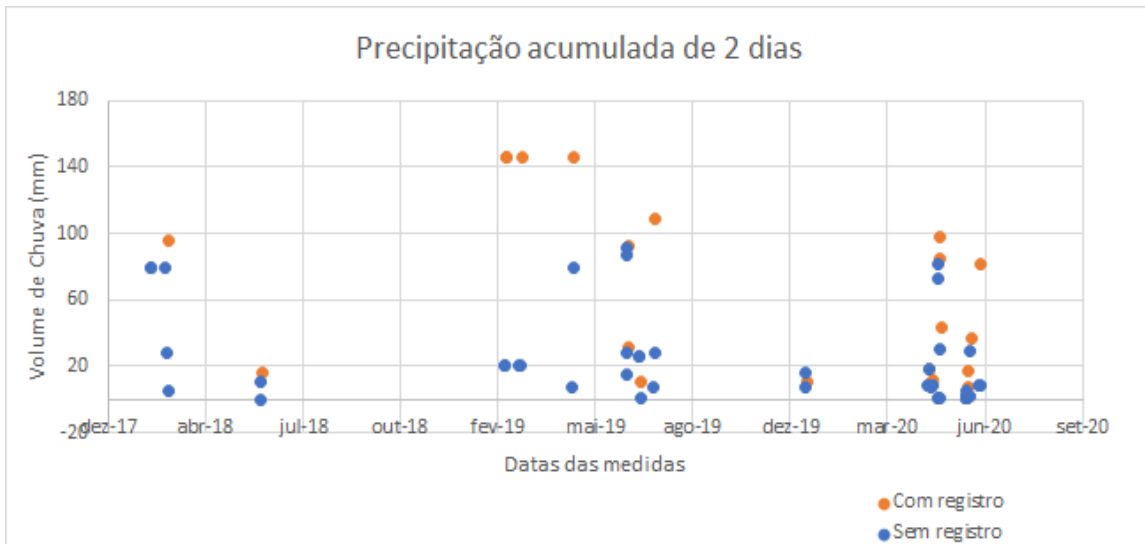


Figura 20 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 3 dias. Elaborado pelo autor.

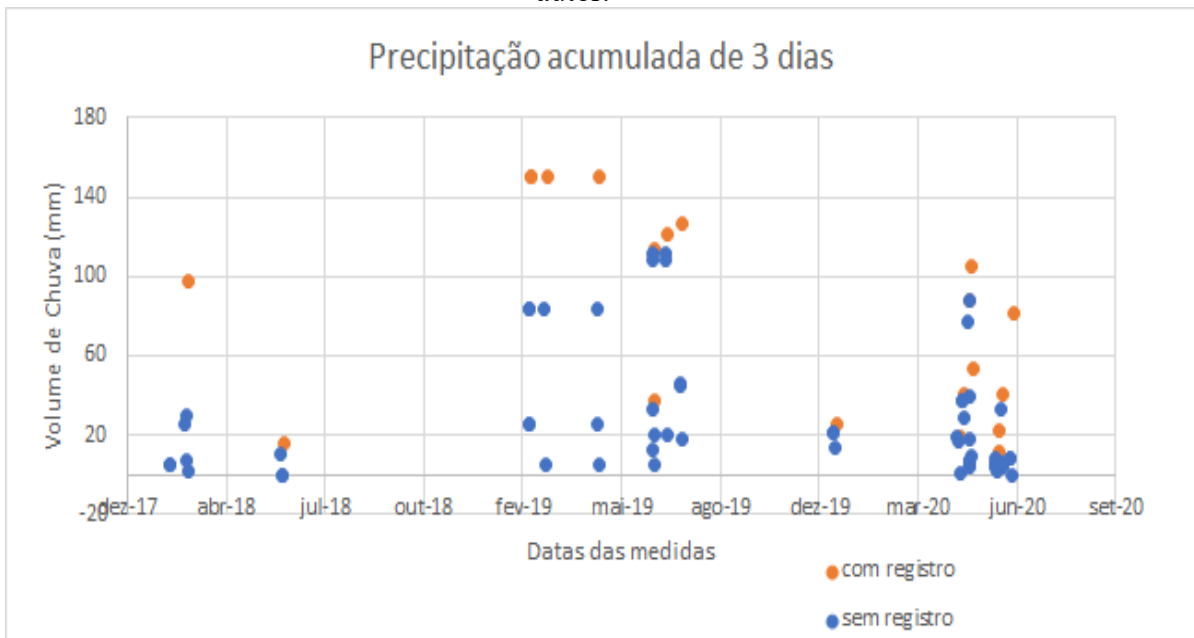


Figura 21 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 4 dias. Elaborado pelo autor.

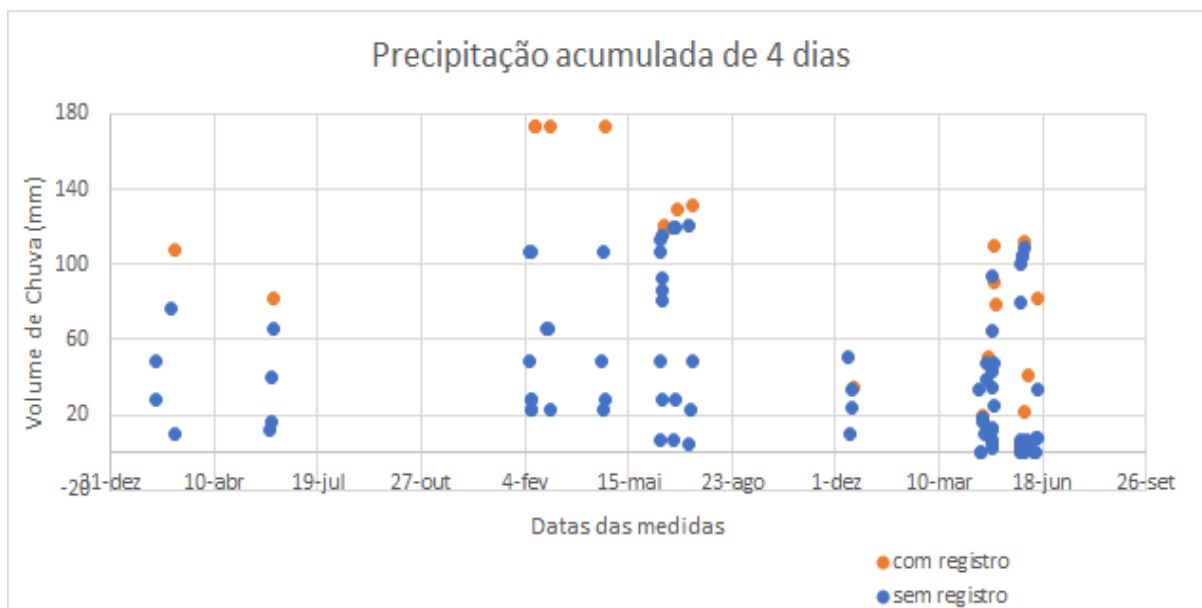
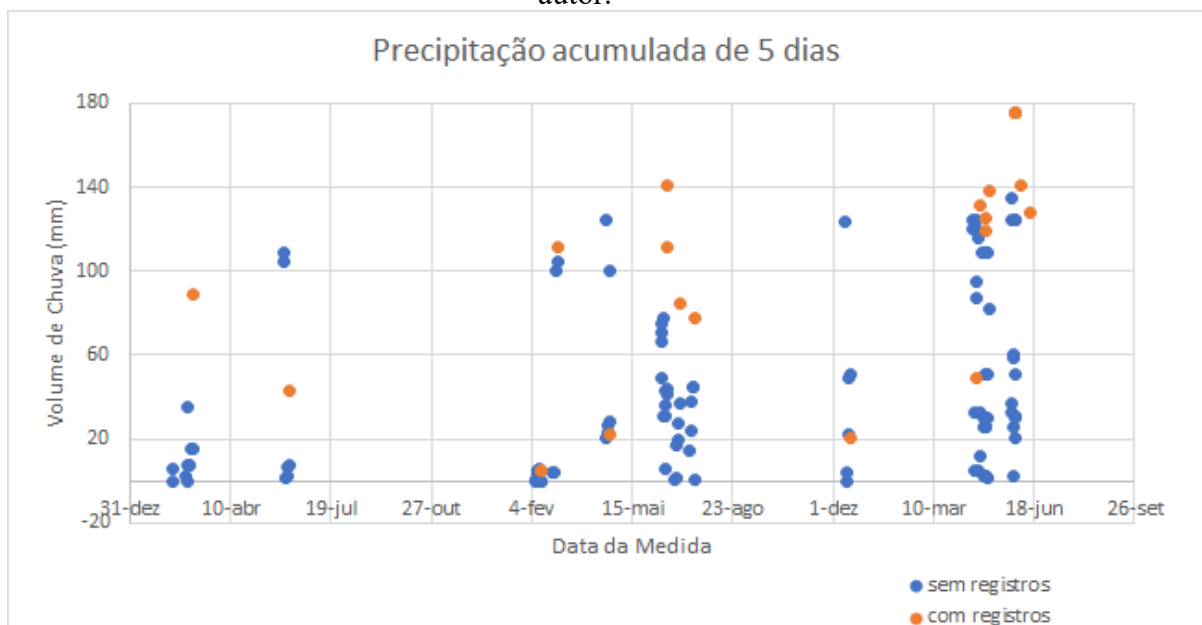


Figura 22 - Gráfico de dispersão de precipitação acumulada de 5 dias. Elaborado pelo autor.



A partir do gráfico de dispersão que considera os dados pluviométricos de 3 dias acumulados, ou seja, 72 horas, pode-se observar a relevância da precipitação acumulada

no desencadeamento dos escorregamentos. Pois podemos verificar uma concentração dos pontos que representam as ocorrências na parte superior do gráfico, nota-se que a maior parte dos escorregamentos ocorreram após 60 mm de precipitação.

O gráfico de seguinte, que avalia os dados de chuvas acumuladas de 4 dias, ou seja, 96 horas antes da ocorrência corrobora ainda mais com a tese que para a área de estudo analisada, as encostas de Maceió, as precipitações acumuladas são as mais significativas para o desencadeamento dos escorregamentos.

Por fim, ao analisarmos o gráfico de dispersão que discorre as chuvas acumuladas para 5 dias, ou seja, 120 horas, afere-se o melhor cenário para os gráficos apresentados, pois a concentração dos pontos que representam as ocorrências fica mais acumuladas na porção superior do gráfico, denotando a importância das chuvas acumuladas.

Quadro 6 – Precipitação acumulada que antecederam as ocorrências de escorregamento.
Elaborado pelo autor. Dados da Defesa Civil de Maceió

DATA	1 dias	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias
Mar//2018	73,2	81,4	81,2	81,2	89
Jun/2018	35,2	36,8	40,4	41,4	43,2
Fev/2019	7,2	7,6	11,4	111,8	111,8
Fev/2019	0	1,59	3,75	4,73	4,73
Abr/2019	16,39	17,37	22,1	22,1	22,1
Mai/2019	82,88	84,26	88,21	90,38	111,08
Jun/2019	97	97,8	104,6	109,8	140,6
Jul/2019	35,83	43,7	53,54	78,74	84,65
Ago/2019	3,37	12,6	40,83	50,49	78,5
Dez/2019	2,8	18,8	19,2	19,2	20,2
Mar/2020	4,2	11,2	25	34,6	49,4
Abr/2020	82,4	108,8	127	131,2	131,2
Mai/2020	124,4	145,2	149,8	172,4	175,2
Jun/2020	10,6	31,2	107,6	118,6	124,2
Jul/2020	90,8	95,6	97,6	107,4	128,2
Ago/2020	16,2	16,2	16,2	82,2	140,6
Média	41,10	50,63	61,77	78,51	90,21
Mínimo	0	1,59	3,75	4,73	4,73
Máximo	90,8	145,2	149,8	172,4	175,2

O limite estabelecido para o nível de atenção também foi estimado a partir dos valores encontrados nos gráficos, sendo o valor mínimo igual a 43,2 mm/5 dias, retirando as ocorrências que não estão associadas a chuvas, e a média 90,21 mm/5 dias. Ficou estabelecido como 175,2/5 dias o nível de atenção. Analisando os dados escolhidos para o estudo é possível constatar que volume de chuva acumulada em cinco dias capaz de deflagrar escorregamentos foi baixa (4,73mm), porém a média da chuva diária com registros de acidentes foi alta, atingindo 90,21mm, validando a hipótese que os mesmos ocorrem para baixos valores de precipitação acumulada quando se registra um alto valor de precipitação diária.

Neste caso, foi necessária a análise a partir dos gráficos da correlação entre precipitação diária e acumulada de 3, 4 e 5 dias para identificação do número de dias com separação mais aceitável desses pontos.

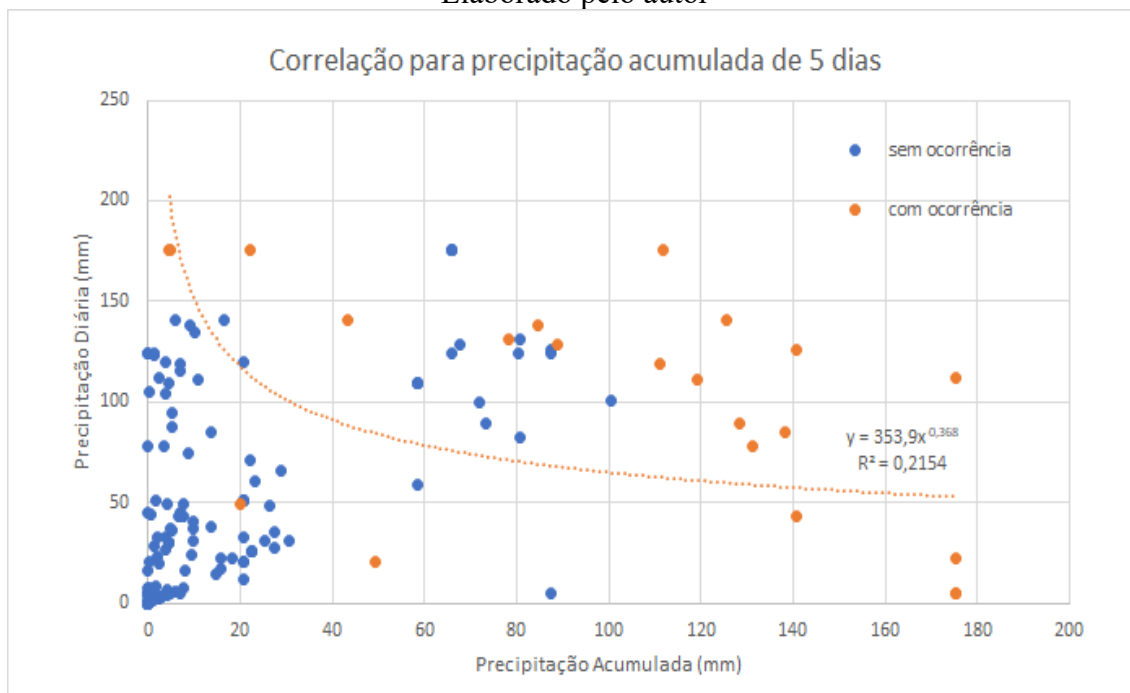
4.3 RELAÇÃO NUMÉRICA ENTRE PLUVIOSIDADE E ESCORREGAMENTOS

Para definição da relação entre pluviosidade e escorregamentos, algumas possibilidades de combinação entre precipitações diárias e chuvas acumuladas foram avaliadas. Os gráficos foram elaborados para chuva acumulada de três, quatro e cinco, antecedentes das ocorrências.

Nestes gráficos foram lançados todos os pares de pontos pluviométricos com registro de ocorrências e sem registros associados dos anos escolhidos para o estudo. Em seguida, tentou-se identificar o gráfico de n dias de chuva acumulada onde estes pontos apresentasse uma separação mais nítida e conseqüentemente possibilitasse a definição de uma relação numérica através de uma linha tendência traçada entre os pontos, confirmando o valor encontrado nos gráficos de dispersão.

A Figura 23, apresenta o gráfico gerado para todos os registros de escorregamentos em Maceió. Os gráficos gerados foram percebidos uma maior dispersão dos dados com escorregamento até 3 dias, começando a ser observado um distanciamento destes dos pontos sem escorregamentos, a partir de 4 dias. No entanto, este padrão de separação fica mais satisfatório por 5 dias. A Figura 23 mostra o gráfico de precipitação acumulada de 5 dias *versus* 1 dia.

Figura 23 – Correlação entre precipitação diária e precipitação acumulada de cinco dias.
Elaborado pelo autor



A equação que demonstrou melhor ajuste aos pontos com escorregamento foi do tipo potência e é representada por $PD = 353,9PA^{-0,368}$, sendo PD a precipitação diária no dia do acidente e PA a precipitação acumulada em 5 dias antecedentes à ocorrência. A análise da equação mostra que o aumento dos totais acumulados nos dias antecedentes diminui a quantidade de precipitação necessária para o desencadeamento dos escorregamentos.

Como mostra a Figura 23, a separação definida pela linha de tendência não é exata, sendo possível notar pontos abaixo da curva associados aos escorregamentos e pontos acima não associados. No entanto, a maior parte dos dados de precipitação relacionados com os escorregamentos localizam-se na área superior a curva, a qual pode ser atribuída uma suscetibilidade maior a escorregamentos na região estudada. Os pares de pontos pluviométricos que se encontram abaixo da curva representam aproximadamente 12,9% do total apenas.

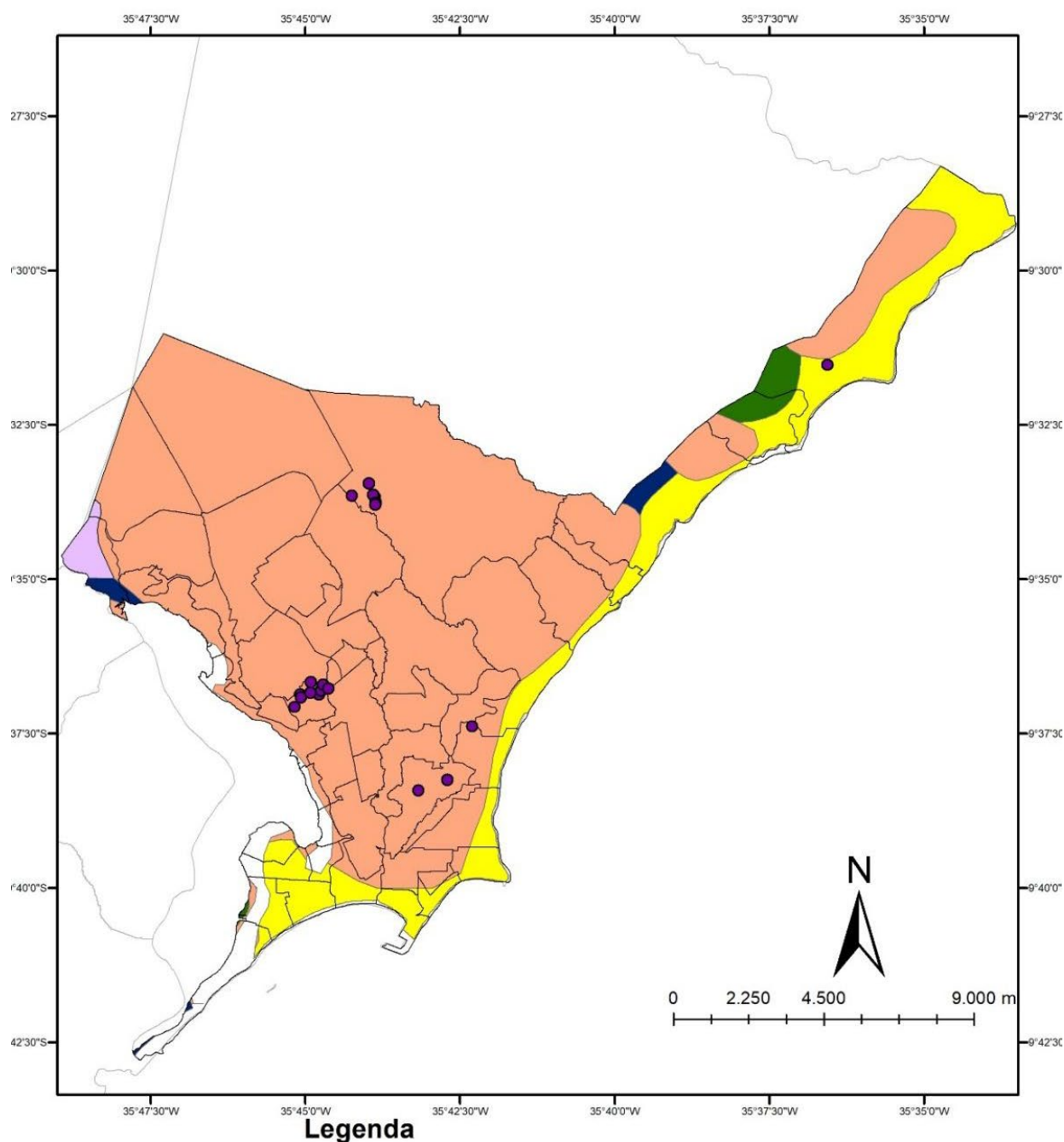
Para os novos gráficos gerados foi percebido um comportamento similar aos dos gráficos. Houve grande dispersão dos dados com escorregamento até 2 dias. A partir de 3 dias começa ocorrer um distanciamento destes pontos daqueles sem escorregamentos associados. O padrão de separação fica mais aceitável para 4 dias e a partir de 5 dias, os pontos com escorregamento não alteram consideravelmente o comportamento.

4.4 ESCORREGAMENTOS EM FUNÇÃO DA ESPACIALIZAÇÃO

Todos os escorregamentos utilizados no estudo foram georreferenciados no município, de maneira que fosse possível a verificação de diferentes atributos do meio físico para as ocorrências analisada. Os mapas com as ocorrências georreferenciadas foram sobrepostas nas seguintes unidades fisiográficas: (i) unidades geológicas, (ii) solo, (iii) padrões de relevo, (iv) declividade da superfície e (v) hipsometria do município (vi) susceptibilidade a escorregamentos.

Analisando de maneira integrada os mapas temáticos expostos, integrando as informações dos mapas expostos, denotam que os aspectos geológicos e as resistências das unidades geológicas, combinados aos fatores hidrológicos e meteorológicos são responsáveis pelas diferentes geomorfologias do terreno. As características naturais do terreno, somadas aos fatores populacionais, especialmente quanto ao uso e ocupação, são capazes de deflagrar, e alterar a intensificar os processos de escorregamento.

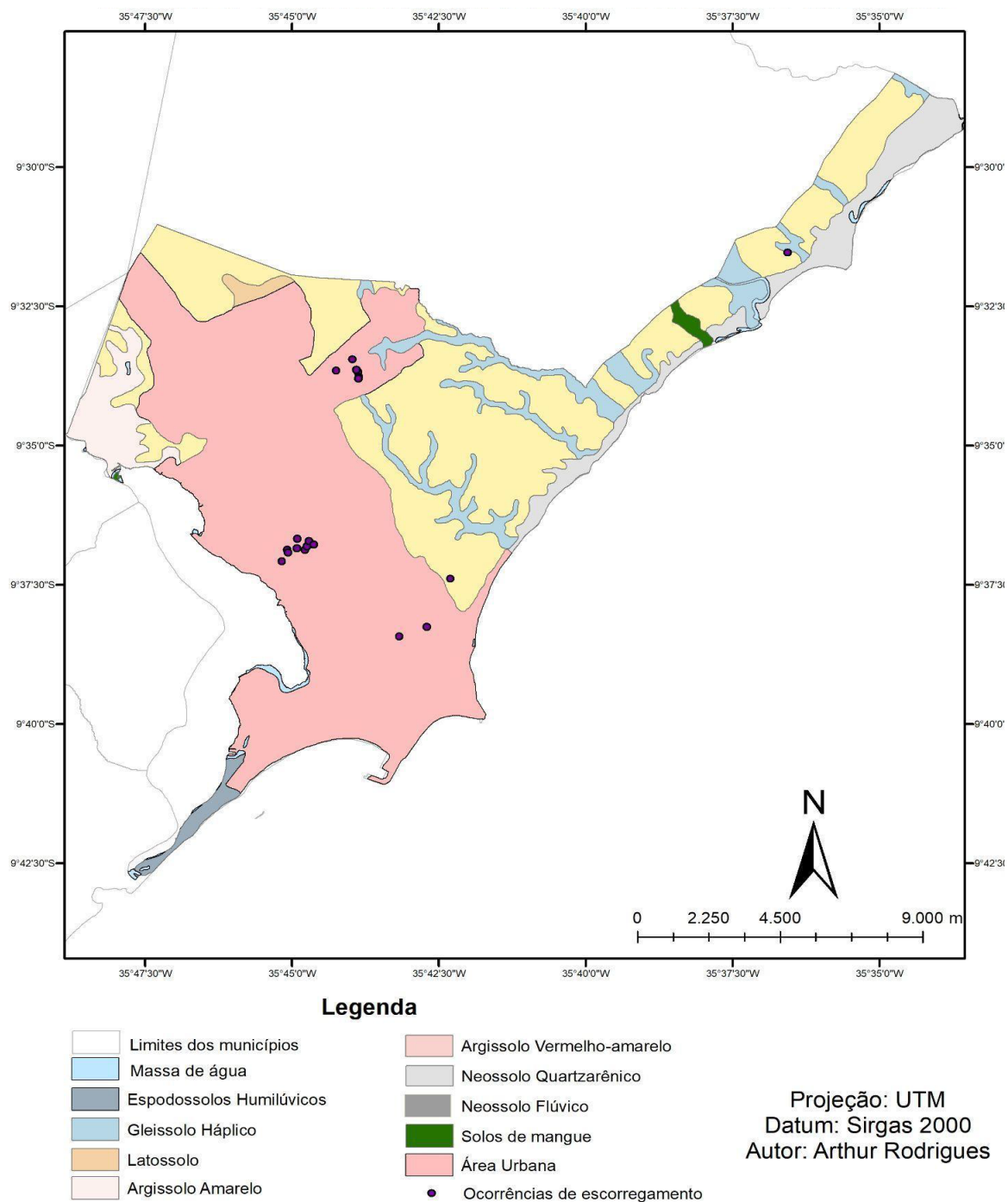
Figura 24 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Unidade Geológica. Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor



Por meio da análise do mapa (figura 25), é possível inferir que a maior parte das

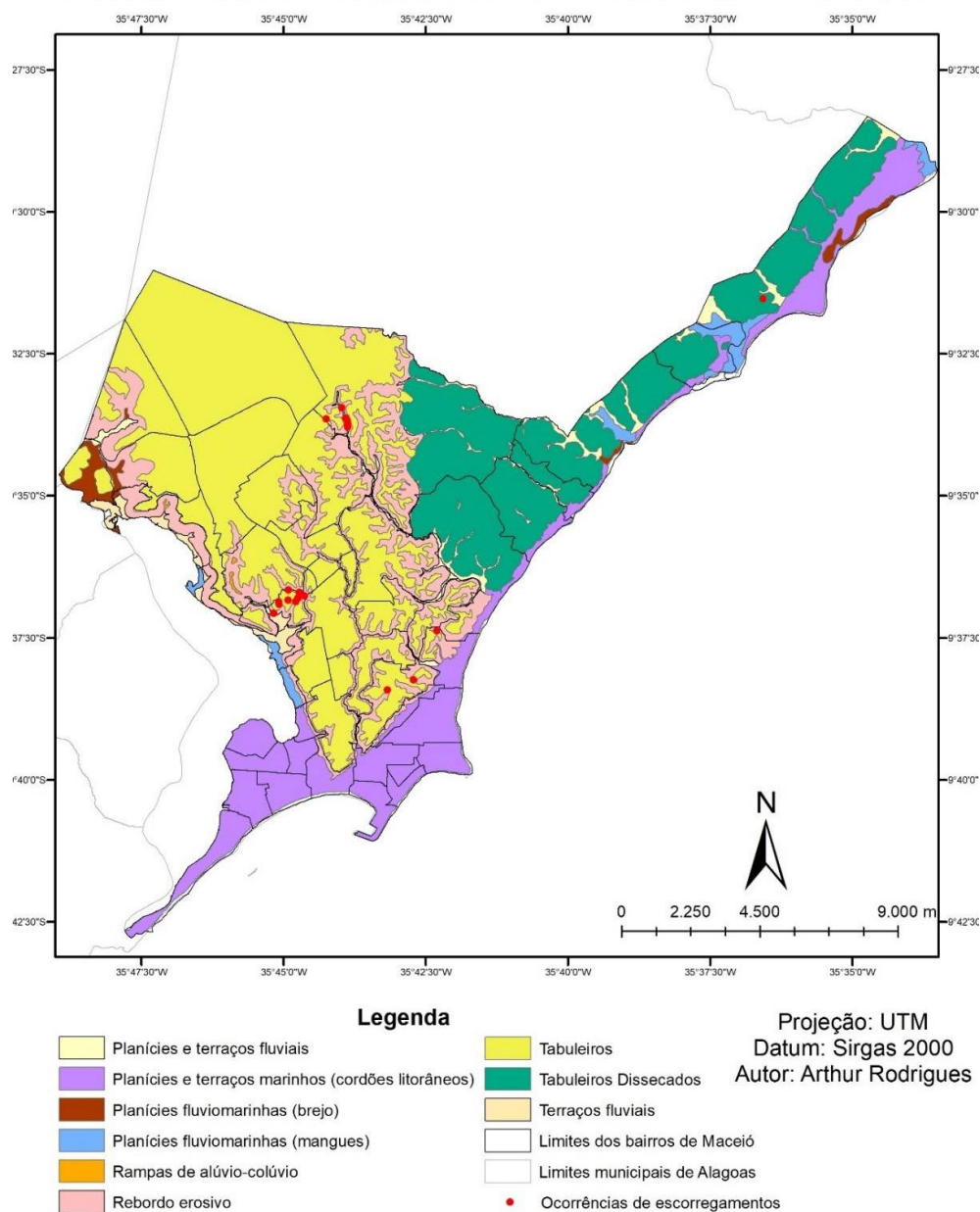
ocorrências (90%) está na área urbana do município, denotando uma associação entre os eventos de escorregamento e influência antrópica na aceleração dos processos de escorregamentos, os outros registros também estão associados na parte que abrange o latossolo.

Figura 25 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de solo de Maceió. Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor



Para o mapa de padrões de relevo do município é possível observar que a maior parte das ocorrências estão associadas ao relevo dos Rebordos erosivos, na qual é um tipo de relevo acidentado, composto por vertentes predominantemente retilíneas a côncava, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvio e depósitos de tálus, representando relevo de transição entre duas superfícies diferentes com cotas altimétricas diversificadas, encontrada, no município, nas bordas do Tabuleiro (CPRM, 2010), observados na Figura 26.

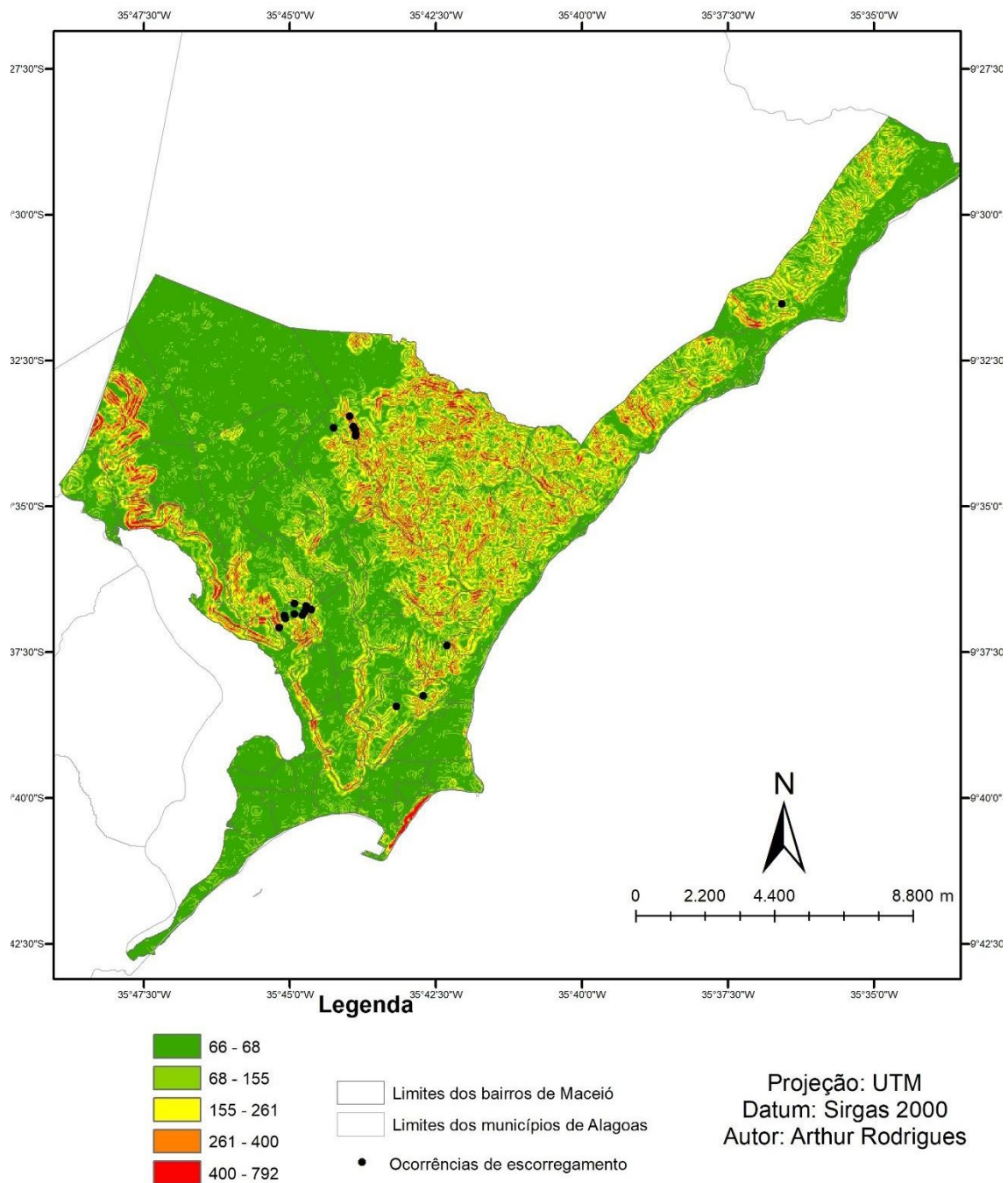
Figura 26 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Padrão de Relevo de Maceió. Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor



O mapa de declividade que foi gerado a fim de compreender a inclinação do

terreno do município, sobrepondo as ocorrências georreferenciadas não é possível distinguir com clareza os intervalos e padrões de comportamento da declividade, porém é possível aferir que a maioria das ocorrências estão associadas as partes mais inclinadas do município, (Figura 27).

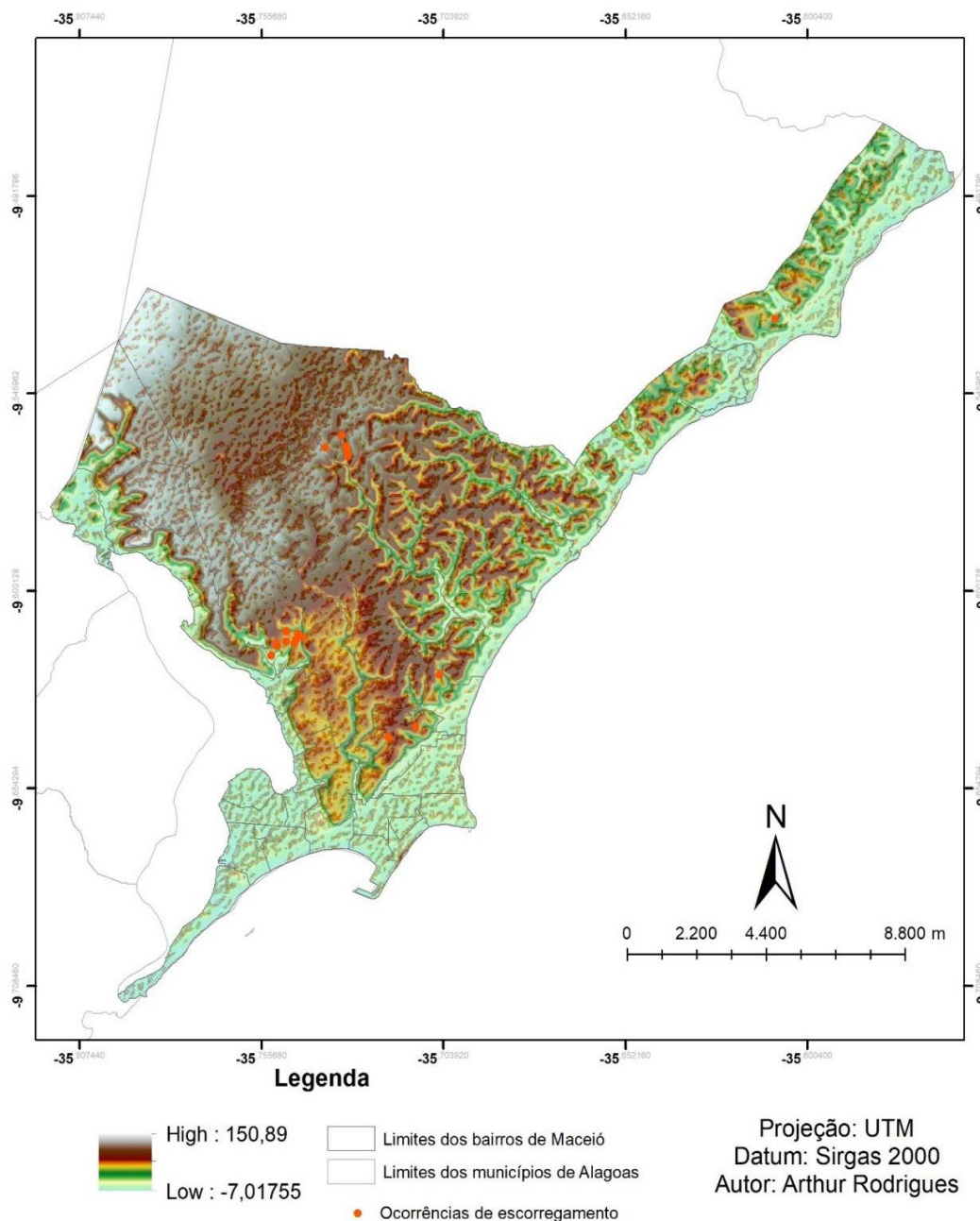
Figura 27 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Declividade de Maceió. Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor



No mapa Hipsométrico do município é possível constatar que todas as

ocorrências de escorregamentos estão associadas as regiões mais altas do município, verificam-se os maiores valores hipsométricos estão concentrados na região dos tabuleiros. Observam-se valores hipsométricos topos dos tabuleiros dissecados, variando de 30 a 47 m, localizados no centro do município a maioria dos registros de escorregamentos.

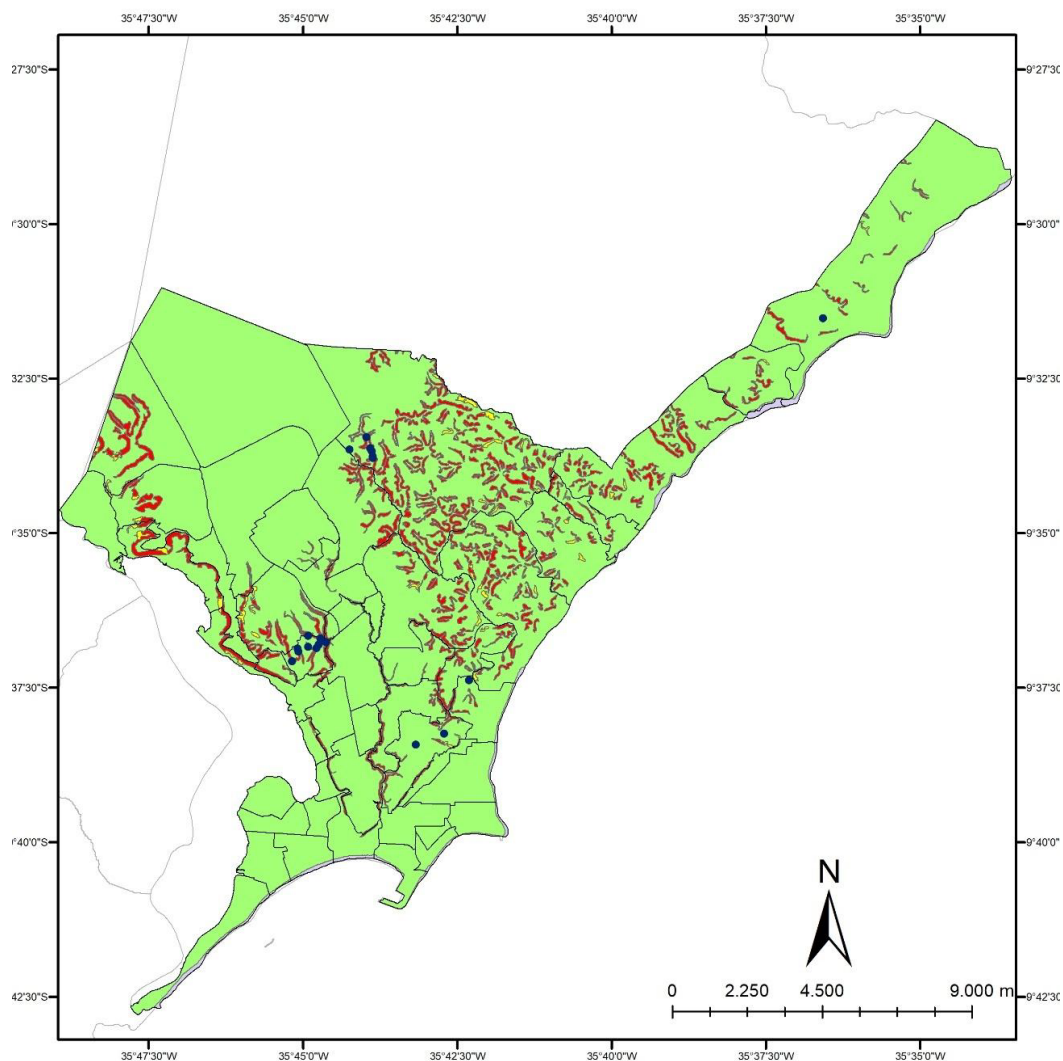
Figura 28 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Hipsometria de Maceió. Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor



Ao observar o mapa, com os pontos de escorregamentos sobrepostos aponta-se a

predominância, de maneira geral, áreas classificadas como baixa suscetibilidade para processos de escorregamentos. Porém as ocorrências estão mais localizadas nas classificações média e alta estão distribuídas ao longo da parte do município, em destaque os bairros que tem uma grande densidade populacional.

Figura 29 – Mapa de ocorrências de escorregamentos sobreposto ao mapa de Suscetibilidade de Maceió. Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor



Legenda

Classes de suscetibilidade

- Alta
- Baixa
- Média

- Ocorrências de escorregamentos
- Limites dos bairros de Maceió
- Limites municipais de Alagoas

Projeção: UTM
Datum: Sirgas 2000
Autor: Arthur Rodrigues

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa possibilitou analisar a influência da precipitação no desencadeamento dos escorregamentos em Maceió fornecendo ferramentas para a defesa civil do município em relação à aplicação de medidas de prevenção e tomadas de decisões nas áreas de risco geológico-geotécnico.

A análise da distribuição dos escorregamentos na área de estudo demonstrou que os meses de abril, maio e junho possuem a maior frequência de ocorrências desses acidentes, sendo registrados aproximadamente 95% do total no período de análise de 2018 a 2020. No período de chuvas, considerado os meses também de abril, maio e junho, foram registradas a maioria das ocorrências, confirmando a teoria de que a precipitação é o desencadeador imediato destes processos.

A análise dos dados permitiu ainda identificar as localidades do município mais susceptíveis aos escorregamentos com base no número de ocorrências registradas no período. Os bairros mais afetados foram aqueles com características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis que sofreram com o processo de ocupação inadequada. Este resultado possibilita a intensificação de ações nestas áreas, minimizando os danos causados pelos processos geodinâmicos

Os estudos de correlação entre pluviosidade e escorregamentos confirmaram a importância da chuva acumulada na deflagração deste tipo de escorregamento. O valor da chuva acumulada e o número de dias mais efetivo no processo de deflagração, a partir da análise dos gráficos de dispersão, ficou estabelecido por cinco, o número de dias de chuva acumulada que mais influencia na deflagração dos escorregamentos.

O valor mínimo de precipitação acumulada necessária para provocar os escorregamentos na região foi estimado pelas análises em 90,21 mm/dia e acumulado ficou estabelecido como 175,2/5mm em 5 dias. O limiar pluviométrico definido para o município, combinando a intensidade pluviométrica diária (mm/dia) com a pluviometria acumulada nos 5 dias antecedentes (mm/5d), definiu uma curva com a equação $PD = 353,9 PA - 0,368$ onde “PD” é a intensidade pluviométrica diária e “PA” a acumulada pluviométrica nos 5 dias antecedentes. Esta curva estabelece a separação entre índices pluviométricos com elevada probabilidade de ocorrência desses acidentes.

Com base nessas considerações, a adoção de algumas medidas é importante para execução de trabalhos futuros estão estabelecidos:

- Inclusão de informações mais precisas nos boletins de

ocorrências do Corpo de Bombeiro e da Defesa Civil, como horário provável e tipo do movimento de massa, de modo a facilitar o desenvolvimento de futuros estudos:

- Coleta sistemática dos dados pluviométricos e das informações relativas às ocorrências, organizando os mesmos em banco de dados que facilite a realização dos futuros estudos, possibilitando a calibração anual da pluviometria crítica. Por tratar-se de um resultado empírico, a qualidade da aplicação das equações depende da amostra dos dados utilizados, sendo recomendável realizar atualizações, inserindo novos casos de escorregamentos e ampliando a amostra de dados pluviométricos a cada estação chuvosa.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M.M. **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife.**1998. 135p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.
- ALHEIROS, M. M. et al. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife.** Recife: Ensol, 2003. 344p.
- ALMEIDA, M. C. J; FREITAS, C. G. L. **Uso do Solo Urbano: Suas relações com o meio físico e problemas decorrentes.** Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996. Anais... São Carlos: ABGE, p. 195-200. 1996.
- ARISTIZÁBAL, E.; GAMBOA, M.; LEOZ, F. (2010). **Sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia para el valle de Aburrá,** Colombia. EIA, v.13, p.155-169. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico – geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1992.
- BRAND, E.W. (1989). **Correlation between rainfall and landslides.** In: Proceedings of 12th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, v.1, p.70-72.
- BIGARELLA, J. J. e PASSOS, E. (2003) - **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Ed. Da UFSC. Florianópolis. 1049p.
- CARVALHO, H. A. **Estudo entre as propriedades Geotécnicas e o grau de intemperismo de um solo residual / rocha gnaisse.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências, Recife-PE, 2007.
- CASTRO, J. M. G. (2006). **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado.** Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Civil. 129p.
- COROMINAS, J. & MOYA, J. (1999). **Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin,** Eastern Pyrenees, Spain. Geomorphology, [S.I.], v.30, p.79-93.
- DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. **Susceptibilidade a Deslizamentos: Estudo de Caso no Bairro Saco Grande, Florianópolis – SC,** Caminhos de Geografia 3(6), 2002, p. 63-64.

- D'ORSI, R.N. (2011). **Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. 287p.
- ELBACHÁ, A.T.; CAMPOS, L.E.P.; BAHIA, R.F.C. (1992). **Tentativa de correlação entre precipitação e deslizamentos na cidade de Salvador**. In: 1ª Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas (1ª COBRAE). Anais. Rio de Janeiro, v.2, p.647-656.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. Bertrand, Rio de Janeiro, 1996.
- GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidades de Taludes**, 1ª ad. São Paulo: Oficina de texto, 158p, 2012.
- GUERRA, A. J. T. *et al.* **Criação de um Sistema de Previsão e Alerta de Riscos a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos sócio-ambientais no bairro Quitandinha, bacia do Rio Piabanha (afluente do Paraíba do Sul), município de Petrópolis-RJ**. In: Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade. Taubaté: IPABHi, 2009, p. 785-824.
- GUIDICINI, G., e NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora da USP, 1984. GUIDICINI, G., e NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora da USP, 1984.
- HUTCHINSON, J. N. **General Repost: Morphological and Geotechnical Parameters of landslides**. In: Relation to Geology in Hydrogeology. 5th International Symposium on landslides, Lausanne, vol. A, p 3-35, 1988.
- HUNT, R. E. **Landslides and other slope failures**. In: Geotechnical engineering investigation manual. USA: McGraw-Hill series in Geotechnical Engineering, 1984.
- IDE, F.S. **Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP**. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 153p, 2005.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Ocupação de encostas**. Coord. Cunha, M. A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.
- KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

- LEROUEIL, S.; VAUNAT, J.; PICARELLI, L.; LOCAT, J.; LEE, H.; e FAURE, R. **Geotechnical characterization of slope movements. Invited Levture**, 7th International Symposium on Landslides, 1996.
- LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista**. 2006. 276p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- LUMB, P. (1975). **Slope failure in Hong Kong**. Quarterly Journal of Engineering Geology v.8, p. 31–65.
- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. **Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais**. *Caminhos de Geografia*, v.6, n.19, p. 130-149, 2006.
- MARÇAL, M.S. & GUERRA, A.J.T. **Processo de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de Açailândia (Maranhão)**. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs) *Impactos ambientais urbanos do Brasil* Impactos ambientais urbanos do Brasil. 4.ed. Rio de Janeiro: Impactos ambientais urbanos do Brasil Bertrand Brasil, 2006.
- MENDONÇA, F; DANNI-OIIVEIRA, I.M. **Climatologia: Noções básicas e clima do Brasil**. Ed. Contexto. Curitiba, 2007.
- MONTGOMERY, C. W. **Environmental Geology**. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers. Iowa. 465p, 1992.
- MOLION, L. C. B.; FILHO, N. C.; SANTOS, T. V.; CAVALCANTI, A. S. **As chuvas em janeiro de 2002 no estado de Alagoas: um evento secular**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz Do Iguaçu. Anais, 2002.
- MONTGOMERY, D. R., e W. E. Dietrich, **Channel initiation and the problem of landscape scale**, *Science*, 255, 826-830, 1992.
- PEDROSA, M.G.A. (1994). **Análise de Correlações entre pluviometria e escorregamentos de taludes**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 343p.
- PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. **Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana de recife**. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2015.
- PINTO, L. de S. N.; Holtz, A.C.T. e Martins, J.A. **Hidrologia de Superfície**. Editora Edgard Blücher. 2º Edição. São Paulo. 1973. 179p.

- PREMCHITT, J. (1991). **Salient aspects of landslides in Hong Kong**. Proceedings of the ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok, vol. 2, 497-502.
- PROJETO RADAM – 1983 - Folhas SC 24/25 Aracaju/Recife: **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 856p
- PUN, W.K., WONG, A.K.W. and PANG, P.L.R. (2003). **A review of the relationship between rainfall and landslides in Hong Kong**. Proceedings of the Asian Technical Committee (ATC 3) workshop on rain-induced landslides, Hong Kong, vol. 3, pp 211-217.
- RODRIGUES, C. S. **Mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos de Nova Friburgo-RJ por meio de inferência fuzzy e elaboração de cenários de alerta com uso da terra** – São José dos Campos: INPE, 2013.
- SELBY, M. J. **Hillslope: materials and process**. Oxford, England: Oxford University Press, 1993.
- SILVA, D, F. **Análise da Precipitação na Bacia do Rio Mundaú Usando IAC**. UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 7, n. 1, 2014.
- SOARES, E.P. (2006). **Caracterização da precipitação na região de Angra dos Reis e a sua relação com a ocorrência de deslizamentos de encostas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro. 145p.
- TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. (1987). **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão**. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, São Paulo: ABGE, v.2, pp. 225-236
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. DESASTRES NATURAIS: **Conhecer para prevenir**. INSTITUTO GEOLÓGICO. 1ª ed. São Paulo, 2009.
- TORRES, F. T. P; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 250p.
- VARNES, D. J. **Slope Movement and types and Processes**. National Academy of Sciences, Washington DC. 11-33p, 1984.
- XAVIER, H. **Percepção geográfica dos deslizamentos de encostas em áreas de risco no município de Belo Horizonte, MG**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 222p.1996.

