



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**AÇÕES DE DEFESA CIVIL EM MUNICÍPIOS
DO RIO GRANDE DO NORTE COM AUXÍLIO DO
SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Juliana Cavalcante Monteiro (UFRN/ CCET /Departamento de Geologia- Bacharelado-
Presencial- MT- Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: juliannacmonteiro@gmail.com

Melquisedec Medeiros Moreira (INPE- CRN, Orientador)

E-mail: melquisedec.moreira@inpe.br

NATAL
FEVEREIRO DE 2020

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	2
3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	4
3.1 CLIMA	4
3.2 GEOLOGIA	5
3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA.....	6
3.4 GEOMORFOLOGIA	8
3.5 VEGETAÇÃO	8
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
4.1 CONCEITOS BÁSICOS	9
4.2 METODOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO .	10
4.3 MOVIMENTOS DE MASSA.....	11
4.4 ALAGAMENTOS.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

Vários Municípios do Rio Grande do Norte estão sujeitos à ocorrência de eventos que podem representar perigo às populações. Movimentos de massa (em encostas e falésias), riscos de inundação e alagamentos em áreas urbanas e rurais, sismicidade e processos erosivos nas áreas costeiras são alguns dos fatores geoambientais que podem impor situações de risco às comunidades instaladas nessas localidades mais suscetíveis a esses eventos.

A chuva crítica pode gerar inundações, enchentes e escorregamentos de terra. Assim temos, em um mesmo evento, várias possibilidades de acidentes, onde cada acidente tem uma probabilidade de ocorrência e possui consequências tangíveis e intangíveis.

Dessa forma, a água é o fator determinante dos processos de instabilização. Nesse sentido, a análise do papel da água, como fator desencadeante dos acidentes geotécnicos, assim como o seu controle adequado, são elementos chave para gestão de riscos e prevenção de acidentes.

Natal é uma cidade de clima tropical chuvoso, construída entre rios (Potengi e Pitimbu), e sobreposta a tabuleiros costeiros, campos de dunas e lagoas interdunares. Sua pluviometria média anual associada a fatores de caráter geológico-geomorfológico condicionam a concentração de escoamento de água em superfície e subsuperfície.

Estas características geoambientais podem ser classificadas como predisponentes a movimentos de massa e alagamentos, desencadeados pelas alterações do meio físico e da paisagem provocados pela presença humana.

Dentre todos os processos de movimento de massa, os mais comuns no Brasil são os deslizamentos, quedas de barreira ou desbarrancamentos, movimentos de blocos rochosos ou quedas, rastejos e as corridas.

Movimentos de massa podem ser definidos como movimentos de descida de material de composição diversa (solo, rocha e/ou vegetação) pelas encostas devido à ação da gravidade. Esses processos naturais podem ocorrer em qualquer área que apresente declividade causada pela atuação do intemperismo e da erosão, tendo como um dos principais agentes deflagradores a água da chuva.

O conceito de risco é definido como “uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem, a suas propriedades e ao meio ambiente, em razão da possibilidade de sua ocorrência induzida ou não” (Gusmão Filho, 2006). As áreas de risco são resultado da ocupação de áreas suscetíveis a fenômenos ou processos naturais, tais como movimentos de massas, oferecendo

perigo para a população e sujeitando-a a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais.

Para Faria (2011), a avaliação e a análise de risco constituem etapa fundamental para a adoção de políticas e medidas adequadas para a redução dos efeitos dos escorregamentos. O uso desordenado do solo tem provocado à intensificação e até mesmo o aparecimento de movimentos de massa em encostas. A adoção de medidas apropriadas é extremamente necessária para assegurar e controlar a ocupação racional destas áreas pelo homem.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho teve-se como referência metodológica inicial o modelo utilizado por Carvalho *et al.* (2007). No entanto, foram necessárias adaptações que culminaram na instituição de três etapas sistemáticas fundamentais: (i) levantamento bibliográfico e seleção de área para estudo; (ii) interpretações de campo; e (iii) integração de dados adquiridos para especificação do grau de risco da localidade, tal como para a elaboração do presente relatório (Figura 1).

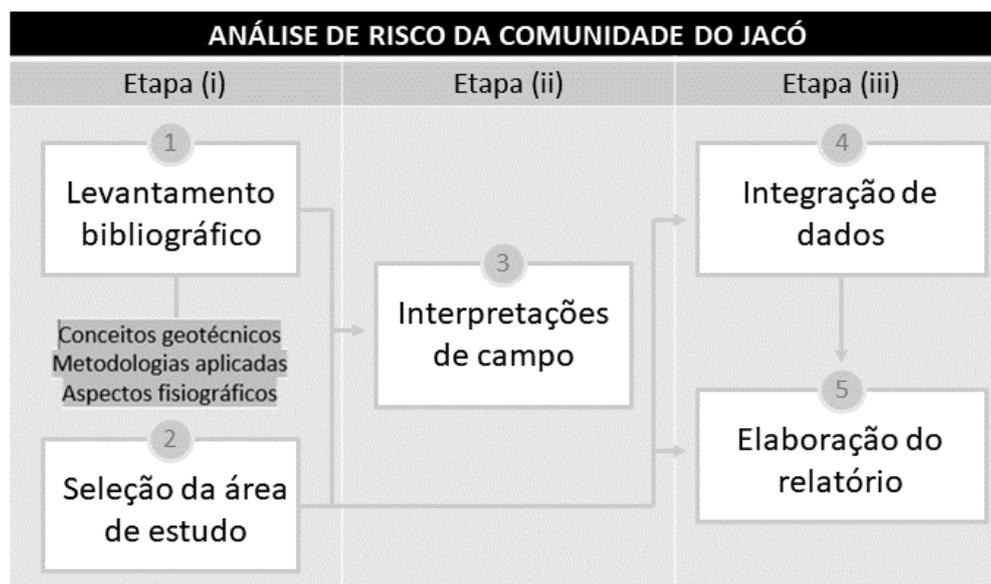


Figura 1: Esquema sintetizando as três etapas sistemáticas de trabalhos adotadas ao longo da pesquisa.

A etapa (i) compreendeu o levantamento bibliográfico voltado aos conceitos geotécnicos que seriam atribuídos aos estudos, às metodologias aplicadas para a natureza do mapeamento ao qual a pesquisa foi desenvolvida e aspectos fisiográficos da região litorânea de Natal, já que o setor selecionado estava contido no município em questão. Além disso, esta etapa foi melhor desenvolvida a partir do curso "Riscos em Natal" – Análise do Meio Físico e

dos Estudos para a Gestão de Riscos” realizado pela UFRN e coordenado pelo Prof. Dr. Ricardo de Souza Moretti, com Carga Horária de 32h.

O Escopo Principal desse Curso de Extensão foi a análise dos problemas geotécnicos que são observados em Natal, com ênfase no entendimento dos processos e dos fatores desencadeadores dos problemas mais frequentes, tendo como objetivo debater os fatores deflagradores do risco e a forma como este processo se estabelece. O curso se deu por meio de quatro encontros, onde foram abordados os conhecimentos básicos sobre o meio físico de Natal e problemas geotécnicos associados; estudos de gestão de risco existente e em desenvolvimento; construção social do risco e a abordagem qualificada.

Foi atribuída à atividade em questão uma visita de campo a Comunidade São José do Jacó, a fim de promover uma análise geotécnica do setor, das condições de vulnerabilidade que se encontra e as formas de enfrentamento das problemáticas identificadas, o que por sua vez influenciou na escolha da área de estudo (Figura 2).

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA COMUNIDADE SÃO JOSÉ DO JACÓ

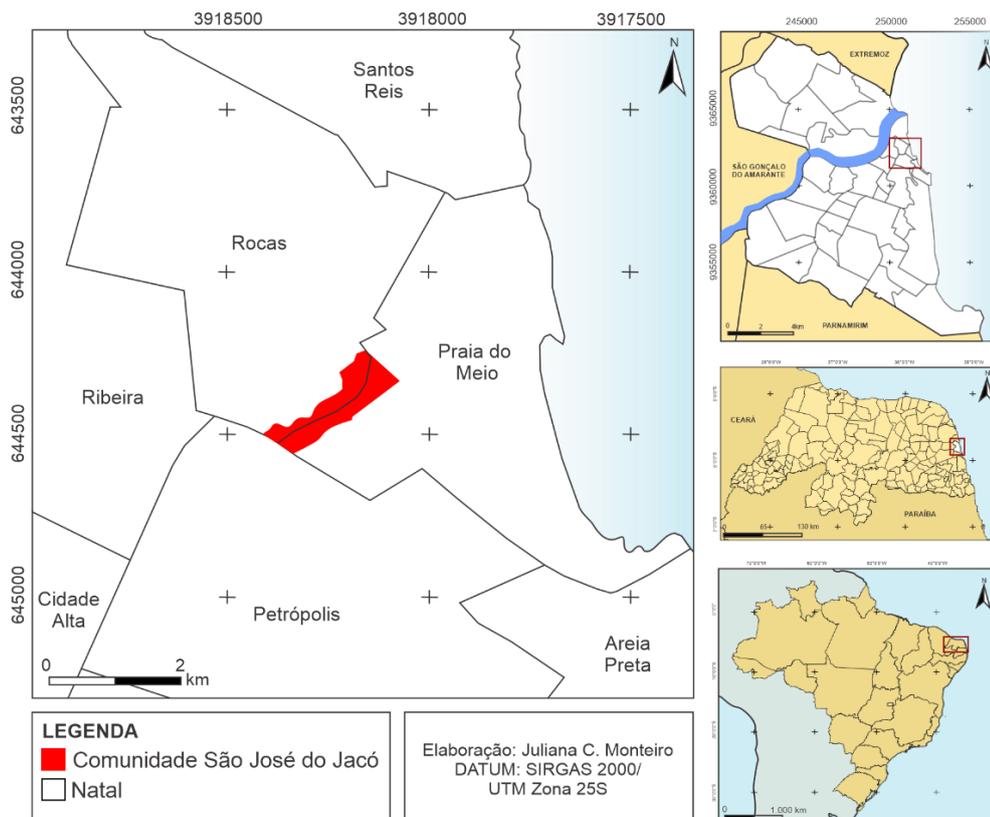


Figura 2: Mapa de localização da Comunidade São José do Jacó, situada em Natal (RN) entre os bairros da Praia do Meio e Rocas. A região, a princípio visitada através do curso oferecido pela UFRN se tornou área de estudo devido os problemas geotécnicos expostos.

O estágio seguinte é relacionado às observações geológicas, geomorfológicas e geotécnicas qualitativas realizadas em campo, que apesar de serem adotadas como subjetivas por Carvalho & Galvão (2006), representam uma importante ferramenta de análise para as condições de estudo relativas a presente pesquisa. À vista disso, graus de risco foram estabelecidos através das evidências dos processos atuantes na evolução desses setores.

Por fim, a etapa (iii) integrou todo o conteúdo adquirido na revisão bibliográfica com o analisado na visita à comunidade, apontando e descrevendo os fatores predisponentes e discutindo a vulnerabilidade e a suscetibilidade da região. Esse estágio teve sua evolução nas dependências do INPE/CRN, de forma que os resultados adquiridos foram organizados em publicações e no presente documento.

3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Situado no Nordeste Brasileiro, na região litorânea do Rio Grande do Norte, o município de Natal ao qual se encontra a área de trabalho em questão foi instalado sobre coberturas sedimentares cenozoicas, cujo relevo é marcado por terrenos planos a suavemente ondulados. Seu clima é predominantemente tropical litorâneo úmido, o que reflete uma ampla variedade na vegetação. Esses aspectos serão melhor discutidos a seguir.

3.1 CLIMA

Como já mencionado anteriormente, Natal apresenta um clima tropical litorâneo úmido, caracterizado por um índice pluviométrico em torno de 1.800mm anuais (segundo a EMPARN, 2018), com estação chuvosa prolongada de janeiro a setembro e os demais três meses de estiagem. Contudo, os maiores índices de precipitação compreendem o trimestre de abril a junho, isto porque a Massa Tropical Atlântica, de natureza quente e úmida age sobre a região, favorecendo as chuvas no litoral (Silva *et al.*, 2010; Diniz & Pereira 2015).

O fator anteriormente discutido influencia na umidade relativa do ar, o que reflete meses mais úmidos em períodos chuvosos e temporadas menos úmidas em meses mais secos. O município tem variação média da umidade relativa do ar próxima a 80% (Santo & Silva, 2016).

Já sua temperatura média é equivalente a 26°C, possuindo variabilidade mínima média de 23°C e máxima média de 29°C. Contudo, temperaturas máximas próximas de 32°C são relatadas em períodos de verão, isto porque o processo de urbanização intensifica o aquecimento. O evento relacionado ao crescimento da *urbe* é responsável pela alteração do balanço energético em superfície, uma vez que favorece o aumento na liberação de radiação

infravermelha cuja junção com a poluição atmosférica contribui para a intensificação do efeito estufa local, alusivo ao desenvolvimento de ilhas de calor (Santo & Silva, 2016).

3.2 GEOLOGIA

A geologia de Natal é representada por coberturas sedimentares cenozoicas que foram relacionadas às seguintes unidades: Grupo Barreiras, Depósitos Aluvionares Antigos, Depósitos Marinho e Continentais, Depósitos Arenosos e Areno-argilosos, Depósitos Flúvio-Marinhos, Depósitos Aluvionares de Canal, Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados, Depósitos Eólicos Litorâneos Não Vegetados, Depósitos Litorâneos Praiais e Recifes Arenosos (Figura 3.1; Fonseca *et al.* 2012). No entanto, optou-se por descrever apenas os litotipos relativos à Comunidade São José do Jacó que por sua vez engloba o Grupo Barreiras.

O Grupo Barreiras foi formalizado inicialmente por Kegel (1957 *apud* Moraes Neto, 1999) como formação, sendo descrito como depósitos de arenitos médios a grossos, de coloração avermelhada, argilosos, com intercalações de níveis conglomeráticos, argilitos e mais raramente folhelhos, por vezes caulinizados e/ou lateritizados, de fraca diagênese. Eventualmente se encontra sotoposto a fácies arenítica de coloração avermelhada e granulometria mal selecionada da Formação Potengi (Moreira, 1996). Sua redifinição como grupo foi feita por Mabesoone *et al.* (1972).

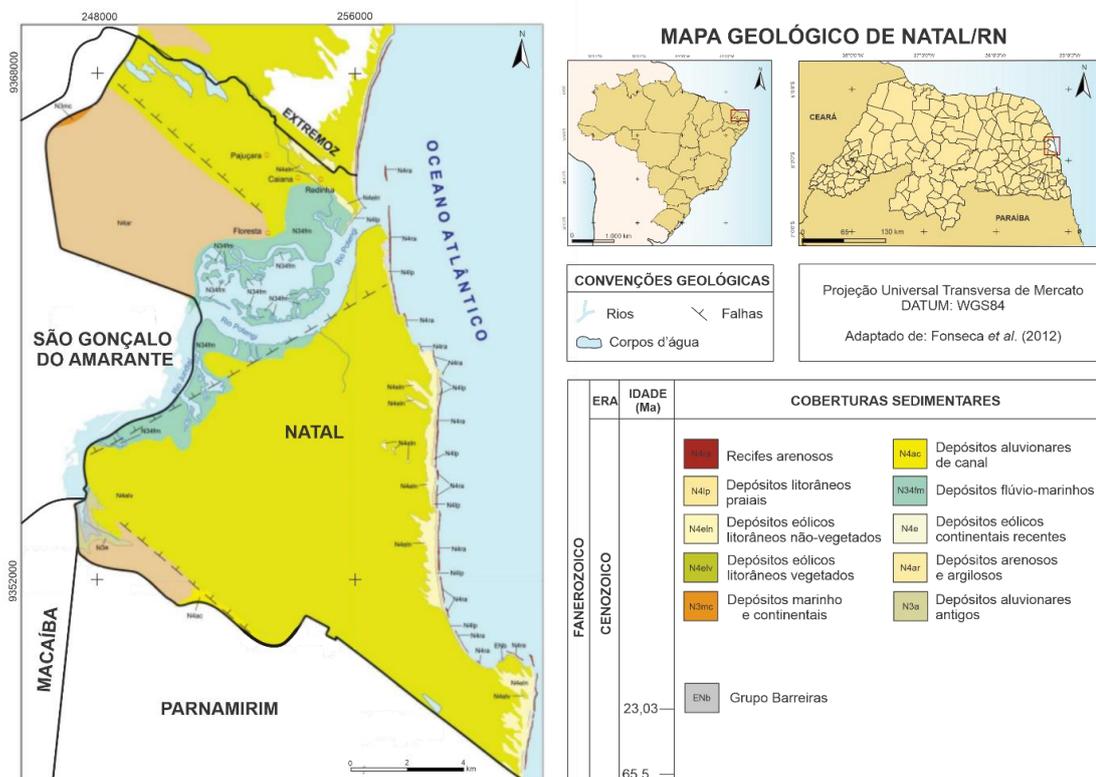


Figura 3.1: Mapa geológico da capital potiguar (Adaptado de Fonseca *et al.*, 2012).

3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA

Naturalmente, a capital potiguar compreende um setor que em estações chuvosas é propício à inundação, isto porque sua urbanização foi desenvolvida sobre dunas que se saturam em água e permitem a aparição de lagoas interdunares, produto da exposição da superfície piezométrica dos aquíferos associados à localidade, são eles o Infra-barreiras, constituído por arenitos calcíferos geralmente compactados, o Barreiras, caracterizado por clásticos continentais de granulometria e cores variáveis relativos ao Grupo Barreiras, e por fim, o Aquífero Dunas-Potengi, de natureza arenoquartzosa, de granulometria fina e origem eólica. Contudo, pelo fato do risco ser referente apenas as porções ocupadas nas dunas descaracterizadas com sistema de drenagem subdimensionado, esses setores são os que apresentam maiores riscos, enquanto a *urbe* evoluída sobre os tabuleiros costeiros possuem os menores graus (Moreira *et al.*, 2019).

O mesmo ocorre quando se trata de movimentos de massa, cuja análise integrada entre os processos do meio físico e os aspectos relativos a uso e ocupação do solo permite a identificação qualitativa de graus de risco. Na área de estudo o material inconsolidado, o substrato geológico, as características geomorfológicas, a profundidade do nível d'água dos aquíferos Dunas-Potengi e Barreiras, as habitações precárias, a declividade, o sistema de drenagem falho e a vegetação original pouco preservada promovem o risco a deslizamentos no local (Figuras 3.2 a 3.5; Moreira *et al.*, 2019).

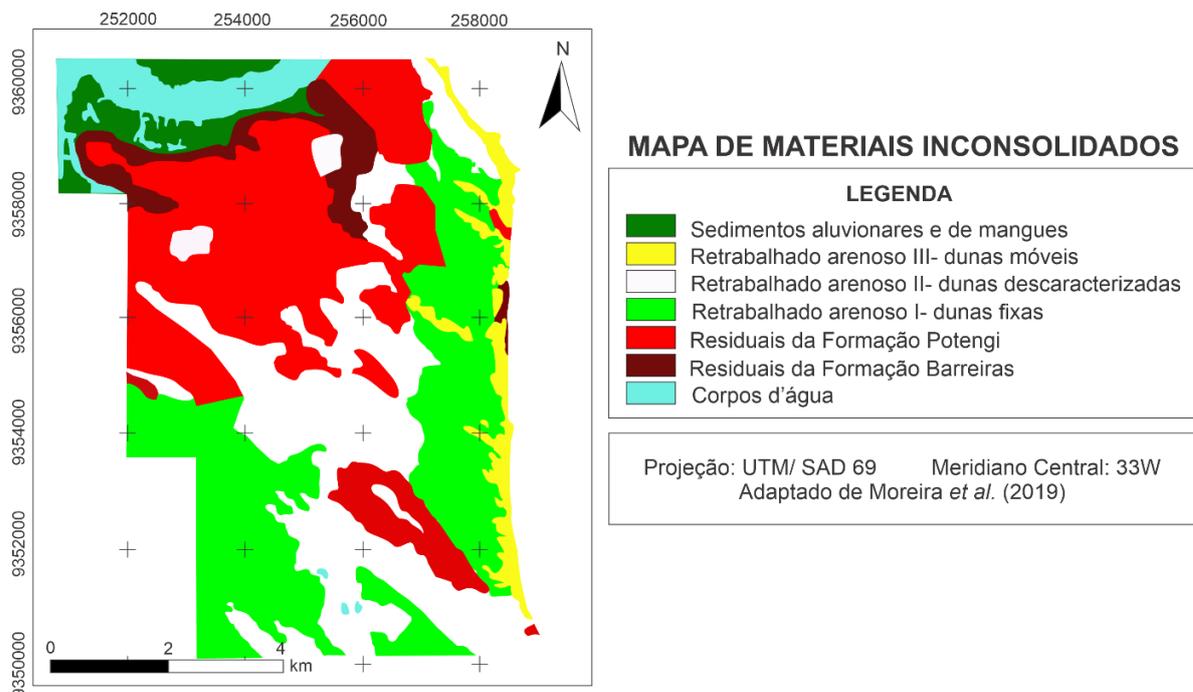
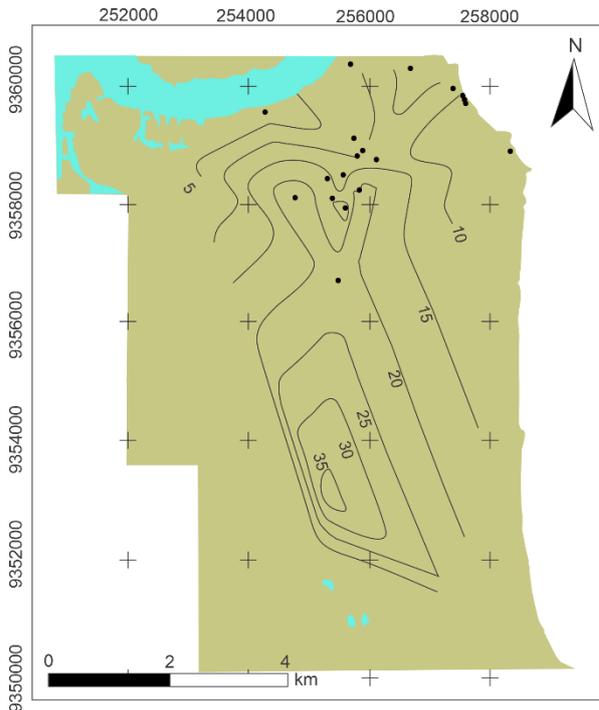


Figura 3.2: Mapa de materiais inconsolidados da porção sul da capital potiguar de clara associação com a carta de suscetibilidade da Figura 3.5.



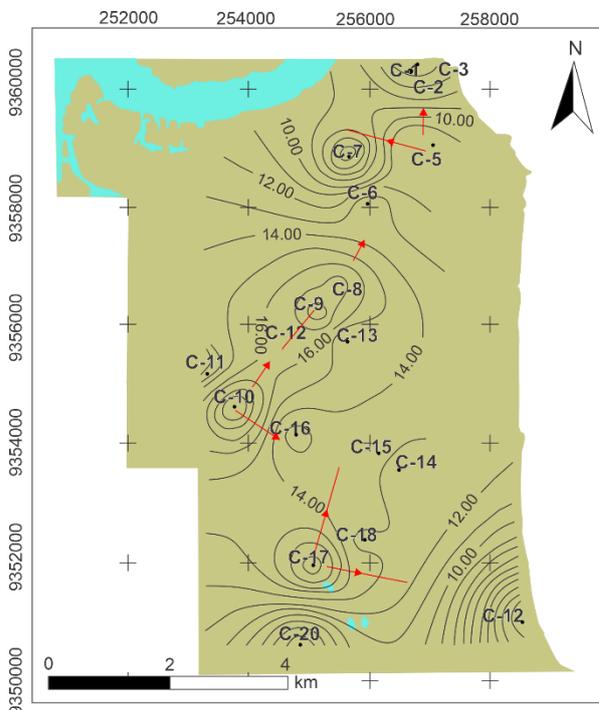
CARTA PIEZOMÉTRICA DO AQUÍFERO DUNAS-POTENGI

LEGENDA

- Sondagem geotécnica atingindo o nível d'água
- ~ Curva piezométrica/ Cota do nível de água
- Corpos d'água

Projeção: UTM/ SAD 69 Meridiano Central: 33W
Adaptado de Moreira *et al.* (2019)

Figura 3.3: Carta piezométrica do Aquífero Dunas-potengi no setor sul de Natal, ao qual está contida a área de estudo direcionada a pesquisa.



CARTA PIEZOMÉTRICA DO AQUÍFERO BARREIRAS

LEGENDA

- ➔ Linha de fluxo subterrâneo
- Poço observado
- ~ Curva piezométrica/ Cota do nível de água
- Corpos d'água

Projeção: UTM/ SAD 69 Meridiano Central: 33W
Adaptado de Moreira *et al.* (2019)

Figura 3.4: Carta piezométrica do Aquífero Barreiras no setor sul de Natal, ao qual está contida a área de estudo direcionada a pesquisa.

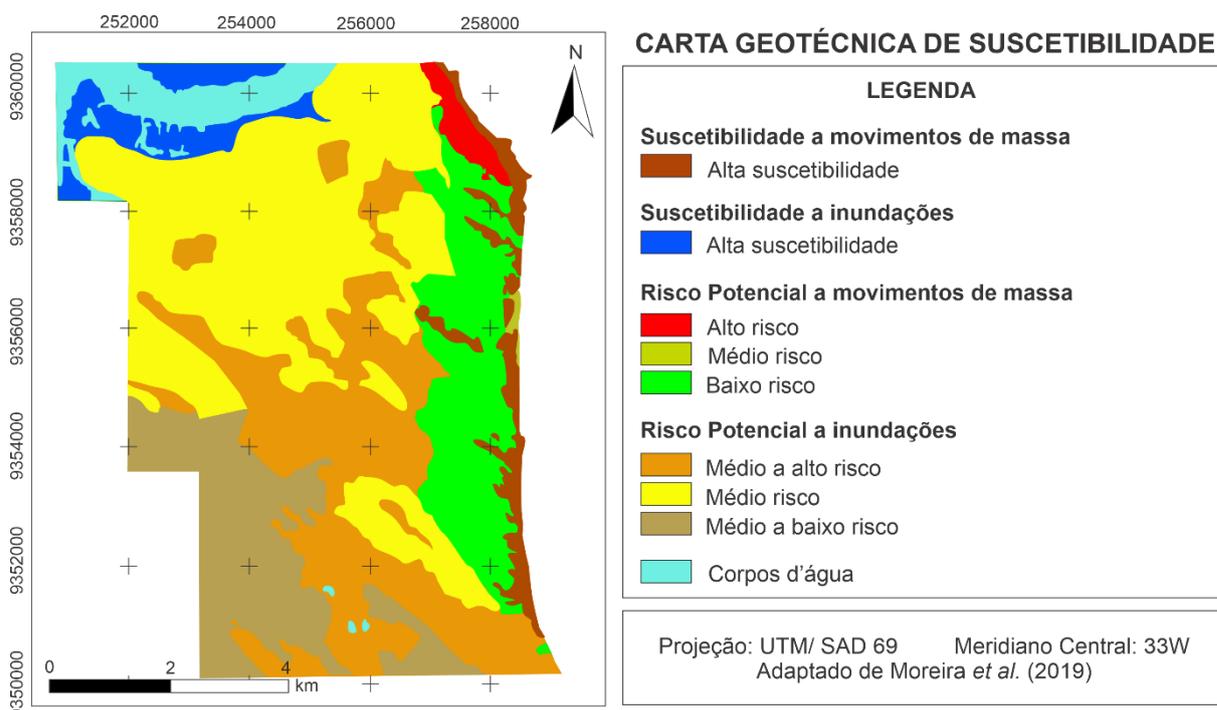


Figura 3.5: Carta de suscetibilidade do setor sul de Natal demonstrando setores de alta suscetibilidade a movimentos de massa e inundações, tal como os graus de risco relativos a cada unidade geológica-geotécnica. Desta forma, sabendo-se que as regiões referentes a um baixo risco são, em geral, não habitadas percebe-se que o crescimento da *urbe* natalense favoreceu a instabilidade das áreas naturalmente suscetíveis.

3.4 GEOMORFOLOGIA

O município em questão possui como padrões regionais de relevo campos de dunas, planícies flúvio-marinhas e tabuleiros costeiros, este último associado à instalação da malha urbana. Os tabuleiros são caracterizados segundo sua natureza plana a suavemente ondulada, com topografia superior aos níveis do mar e do Rio Potengi, sendo, portanto, drenados pela própria inclinação na direção do oceano (Nunes, 2011). A área foco de estudo se dispõe nas cotas mais altas na região limítrofe entre os bairros Rocas e Praia do Meio (Bezerra, 2016).

3.5 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal relativa à Natal compreende espécies da Mata Atlântica expressas em manguezais, restingas e florestas, isto devido à localidade está desenvolvida próxima a uma região de natureza estuarina ou ainda sobre substratos de alta permeabilidade que mantém a vegetação sob estresse hídrico, refletindo então uma maior ocorrência de flora adaptada a setores salobros ou de pequeno porte (Silva *et al.*, 2010).

A vegetação original, anteriormente discutida, pode estar associada a formações secundárias consequentes do seu comprometimento após o avanço da urbanização. Desta

forma, um fator que seria favorável à estabilidade de encostas termina por ser um agravante, isto porque a cobertura utilizada para revegetação é muitas vezes alusiva a plantas que favorecem a infiltração da água e oferecem resistência ao vento (Carvalho *et al.*, 2007).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise de risco é desenvolvida com base em uma série de conceitos aplicados a uma determinada área de estudo, de maneira que busque a desmistificação dos processos envolvidos nas perdas socioeconômicas proporcionadas pelos desastres aqui discutidos. À vista disso torna-se necessária a discussão de definições como evento, perigo, vulnerabilidade, suscetibilidade, risco e áreas de risco, das metodologias aplicadas para este tipo de mapeamento, e por fim, a tipologia e o desenvolvimento dos movimentos de massa e anomalias geradas pelo acúmulo de águas.

4.1 CONCEITOS BÁSICOS

Fenômenos naturais sempre irão acontecer ao longo da escala de tempo geológica, de forma que sua ocorrência irá registrar no tempo suas características, dimensões e localização geográfica. Quando não gera danos socioeconômicos esse acontecimento é tratado como evento, contudo, a partir do momento que pode ser associada uma consequência desagradável o conceito aplicado é o de perigo (Carvalho *et al.*, 2007).

A probabilidade da concretização de um episódio desta natureza é representada pela suscetibilidade, que por sua vez indica a potencialidade dos processos naturais e induzidos em um dado setor. O grau de perda da localidade sob análise é relacionado à vulnerabilidade que designa condições e características sociais da população, como a fragilidade social, a densidade demográfica, a infraestrutura, o conhecimento e a situação econômica (Kobiyama *et al.*, 2006; Carvalho *et al.*, 2007).

Diante do já discutido, a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado fenômeno e a magnitude das consequências que podem ser atribuídas a um grupo compreende o risco. Já as áreas de riscos são setores em que a população está sujeita a danos físicos ou patrimoniais referentes aos fenômenos naturais e/ou induzidos (Carvalho *et al.*, 2007).

Em geral, núcleos habitacionais de baixa renda apresentam a maior concentração de áreas de risco, isto porque o crescimento da *urbe* segue intensa, desordenada e precária, tornando as regiões vulneráveis (Carvalho & Galvão, 2006; Carvalho *et al.*, 2007).

4.2 METODOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

O Programa de Redução de Riscos (Carvalho *et al.*, 2007), propõe uma metodologia para mapeamento de áreas de risco de inundações elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT - que segue os seguintes passos: a) identificação e delimitação preliminar de área de risco em fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas, guias de ruas, ou outro material disponível compatível com a escala de trabalho; b) identificação de área de risco e de setores de risco (setorização preliminar) em fotos aéreas de baixa altitude (quando existir); c) levantamentos de campo para setorização (ou confirmação, quando existir a pré-setorização), preenchimento da ficha de cadastro e uso de fotos de campo.

Há vários enfoques para se chegar a um mapeamento de riscos de escorregamentos. Cada país, e, dentro de cada país, cada grupo, adota metodologias semelhantes, mas com detalhes que as diferenciam, dando produtos às vezes bastante distintos. Foi com o intuito de padronizar uma metodologia que pudesse ser adotada universalmente que o Comitê Técnico Unificado de Escorregamentos de Terra e Taludes de Engenharia (JTC1 – “Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes”, da ISSMGE, IAEG e ISRM) decidiu firmar um documento, com o consenso de especialistas das três entidades internacionais – de Mecânica dos Solos, de Geologia de Engenharia e de Mecânica das Rochas -, que definisse os passos a serem tomados em um Mapeamento de Risco. Desta forma, elaborou-se um “Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de deslizamento para o planejamento de uso do solo”, Fell *et al.* (2008), que foi publicado em um número especial da revista *Engineering Geology* juntamente com vários outros artigos nesta mesma temática. Esse texto foi traduzido e publicado no Brasil pela CPRM/ABGE/ABMS, Macedo & Bressani (2013).

A presente pesquisa será desenvolvida a partir dos procedimentos e premissas deste Manual para o Zoneamento de Susceptibilidade de Perigo e Risco do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1) inseridos no programa “Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço”, realizado pelo grupo de Geoprocessamento do MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) /CRN (Centro Regional do Nordeste), podendo ser consultado no link: <http://geopro.crn.inpe.br/resumo3.htm> (Projeto Mapas Municipais Geoambientais). Nesta linha de trabalho, procura-se integrar estudos relacionados às alterações geomorfológicas, provocadas pelas diferentes formas de ocupação do relevo, configurando-se na formação de depósitos tecnogênicos.

4.3 MOVIMENTOS DE MASSA

As encostas representam uma conformação natural do terreno originada pela interação de agentes geológicos, climatológicos, biológicos e humanos. Essas vertentes estão passíveis a uma variedade de tipos de movimentos de massa resultantes da ação da gravidade em terrenos inclinados, tendo como fator deflagrador principal a infiltração de águas, normalmente meteóricas (Carvalho *et al.*, 2007).

Todavia, os deslizamentos podem ser induzidos pela ação humana através da ocupação urbana com assentamentos precários, elevada densidade populacional, aterros instáveis, lixo nas encostas, cortes de talude, ausência de sistemas de drenagem eficazes e a remoção da vegetação original (Carvalho & Galvão, 2006).

A instabilização gerada apresenta tipologias que auxiliam na análise de risco e na tomada de medidas estruturais e emergenciais após o desencadeamento do movimento de massa, podendo ser definida como rastejo, escorregamento, corrida de massa e queda, de acordo com o plano de deslocamento, velocidade e geometria durante o fenômeno (Carvalho *et al.*, 2007).

O rastejo é definido como um movimento de geometria indefinida, com vários planos de deslocamento, de velocidade baixa e decrescente com a profundidade, cujos movimentos são constantes, sazonais ou intermitentes (Carvalho *et al.*, 2007). Suas evidências mais comuns em campo são degraus de rastejo, inclinação de postes e redes elétricas, além de rachaduras e cisalhamentos em edificações e rodovias (Figura 4.1).

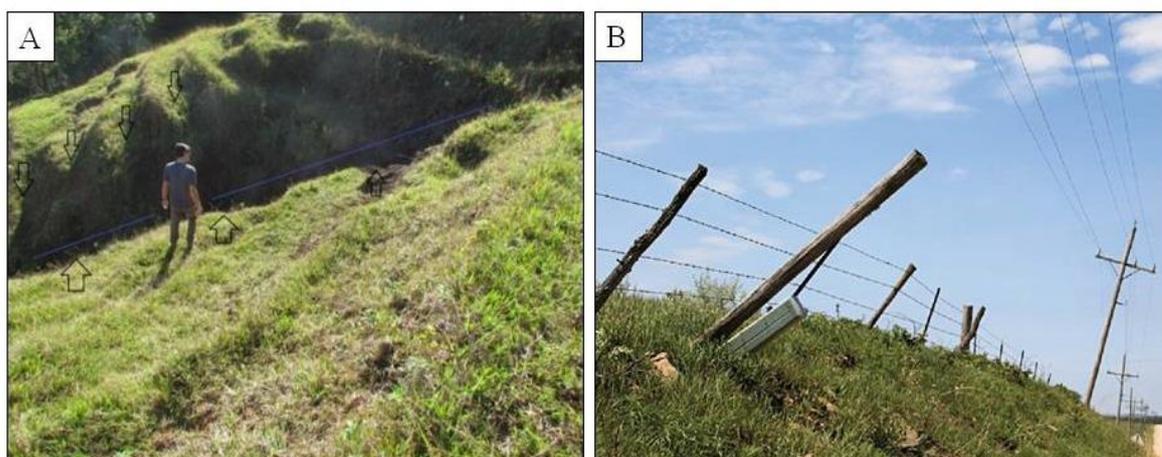


Figura 4.1: Movimento de massa do tipo rastejo, com evidências refletidas em (A) por degraus de rastejo e em (B) por rede elétrica e cerca inclinadas (Fonte: Allmon & Wall, 2015; Gonçalves & Oliveira, 2016).

O escorregamento, por sua vez, apresenta geometria planar, em cunha ou rotacional (Figura 4.2), poucos planos de deslocamento, velocidades médias a altas, transporta pequenos a grandes volumes de material e possuem limites laterais e profundidade bem definidos, tendo

como evidências típicas uma cicatriz de escorregamento e degraus de abatimento (Carvalho *et al.*, 2007).



Figura 4.2: Tipos de escorregamento planar, em cunha e rotacional. Classificados de acordo com a espessura do solo, quantidade de planos de fratura ou ainda movimento do substrato (Fonte: Montgomery, 1992; Hungr *et al.*, 2014).

A corrida de massa é um movimento complexo, com muitos planos de deslocamento que transporta grandes volumes de material, tendo um expressivo raio de alcance e um intenso poder destrutivo (Figura 4.3). É associado a eventos pluviométricos excepcionais, cujo substrato tende a um comportamento viscoso (Carvalho *et al.*, 2007).

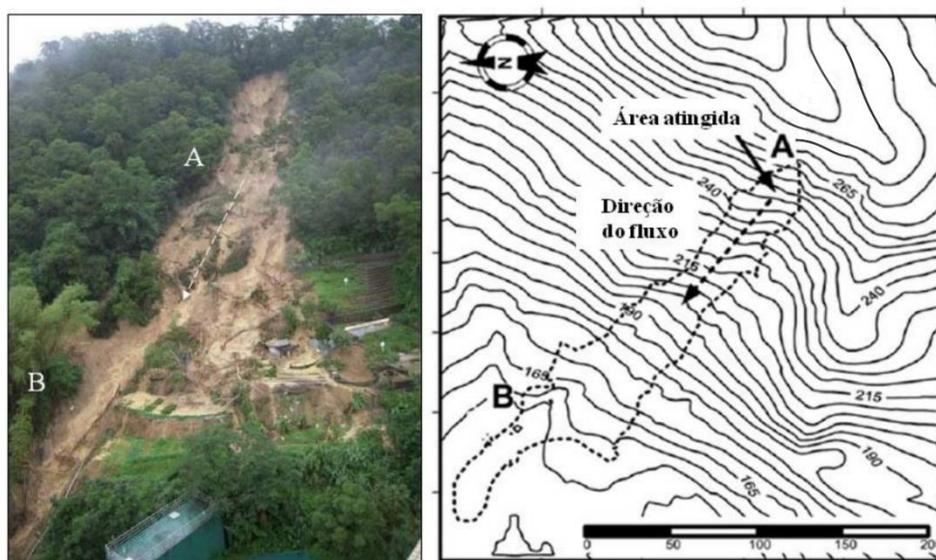


Figura 4.3: Fotografia aérea oblíqua apresentando a direção do fluxo de uma corrida de massa, tal como sua área de atingimento entre o segmento AB (Fonte: Lee & Widjaja, 2013 *apud* Yang, 2008).

Por fim, a queda de bloco denota-se com geometria variável, ausência de planos de deslocamento, velocidades muito altas, com transporte de pequenos a médios volumes e

movimentos em queda livre ou em plano inclinado. Pode ser subdividido em tombamento ou rolamento (Figura 4.4; Carvalho *et al.*, 2007).



Figura 4.4: Tipologia do movimento de queda de bloco, em (A) tombamento de bloco e em (B) rolamento de bloco atingindo habitações situadas no sopé da encosta (Fonte: Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999; CPRM, 2017).

4.4 ALAGAMENTOS

O conceito de alagamento confunde-se com as definições de inundação e enchente, e assim optou-se por inicialmente descrever cada tipo de evento. A enchente representa a elevação temporária em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga do rio, a inundação é referente ao extravasamento das águas do canal para áreas marginais, acima do nível máximo da calha do rio, enquanto que o alagamento é o acúmulo momentâneo de águas em depressões naturais ou antropogênicas de sistema de drenagem falho (Figura 4.5; Carvalho *et al.*, 2007; Fernandes *et al.*, 2018).

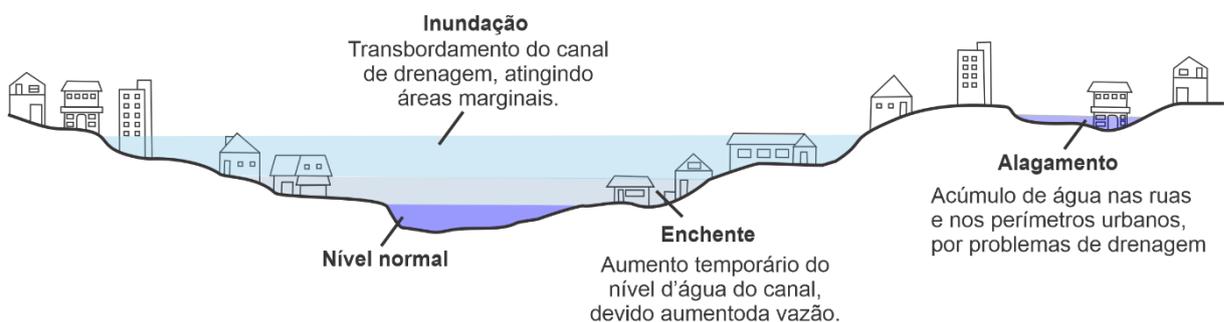


Figura 4.5: Esquema diferenciando os processos de enchente, inundação e alagamento (Adaptado de CPRM, 2017).

Essa insuficiência do sistema de drenagem em junção com menores extensões de áreas verdes e setores de solos impermeabilizados são responsáveis pelo comprometimento da infiltração das águas, tal como seu escoamento superficial, de forma a facilitar o desenvolvimento da problemática. Diferente do poder destrutivo dos movimentos de massa, os

alagamentos não são associados a perdas físicas, mas danos econômicos são frequentes nos setores atingidos (Licco & Dowell, 2015; Teodoro & Nunes, 2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sendo o processo de instabilização das encostas o fenômeno mais frequentes associado às áreas urbanas populacionalmente densas e de baixa infraestrutura, a análise de risco referente à Comunidade São José do Jacó dará uma maior ênfase a esse tipo de processo, buscando apontar a vulnerabilidade do setor, todos os fatores responsáveis para evolução da problemática e as evidências observadas em campo.

A princípio optou-se por fazer referência ao levantamento geológico-geotécnico de Moreira *et al.* (2019), em que a Comunidade do Jacó situa-se na região que compreende os materiais inconsolidados residuais das formações Barreiras e Potengi que por sua vez são relacionados a setores naturalmente suscetíveis a movimentos de massa, de médio a alto risco (Figura 5.1).



Figura 5.1: Fotografia expondo os materiais inconsolidados residuais das formações Barreiras em (1) e Potengi em (2), justamente no setor da comunidade em que houve um corte de talude realizado de maneira errônea que favoreceu o tombamento de um muro de arrimo.

Por se tratar de uma localidade de densa ocupação a comunidade apresenta habitações ao longo de toda a encosta, de maneira a promover possíveis quedas e atingimentos após a concretização de um fenômeno. Esse crescimento populacional sem o acompanhamento dos poderes públicos colaborou para o desenvolvimento de alguns aspectos comprometedores da estabilidade do talude, são eles um sistema de drenagem por vezes falho (elaborado pela própria população) caracterizada por lançamentos indiscriminados de águas servidas seja por vazamentos ou por direcionamento para a encosta que culminam no aumento de sobrecarga do setor e reduzem a resistência ao cisalhamento do substrato, ou ainda a baixa a média taxa de cobertura vegetal original em junção com o cultivo de árvores de grande porte (bananeiras e

coqueiros) que proporcionam sobrepeso no substrato, maiores índices de infiltração e resistência ao vento. Outro elemento comum na região é o descarte de resíduos sobre o talude, cuja heterogeneidade do material e comportamento geotécnico instável ajuda a deflagrar a ocorrência dos deslizamentos (Figura 5.2; Wiggers, 2013).



Figura 5.2: Fatores antrópicos que facilitam a desestabilização dos taludes. Em (A) concentração habitacional ao longo da encosta, (B) encanamentos e fossa séptica indevidamente instalados, indicados pelas setas amarelas, (C) árvores de grande porte cultivadas no substrato inclinado, com destaque a coqueiro e bananeira, evidenciados por setas amarelas e em (D) encosta com descarte de resíduos sólidos. Todas essas situações comprometem a coesão do solo e assim favorecem a deflagração de movimentos de massa.

A área analisada apresenta declividade média a alta, por vezes associada a cortes de talude mal realizados, cuja finalidade é promover aplainamento do solo para implantação de edificações ou ainda contenção de substratos adjacentes. A vista disso relata-se a construção de um muro de arrimo executado através de um corte a 90° da inclinação natural da encosta com problemas estruturais que culminaram em seu colapso. A consequência, de acordo com profissionais da Defesa Civil e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte foi produto de um sistema de drenagem insuficiente que promoveu o aumento da carga suportada pela estrutura de contenção (Figura 5.3).



Figura 5.3: Visão geral do colapso do muro de arrimo da Comunidade São José do Jacó. Em (A) observa-se a inclinação original aparente do talude que posteriormente passou por um corte a 90°, em (B) a ampla quantidade de habitações situadas sobre o substrato associado ao fenômeno e em (C) os furos realizados para o escape das águas concentradas no solo. Não obstante, ainda pode-se analisar o esquema montado para explicar o movimento de massa em questão, em que o corte feito sem a devida infraestrutura (tirantes e/ou sobrepeso na porção inferior do muro) em junção com o aumento do peso específico do litotipo do setor causado pela massa das moradias e da água concentrada nos poros geraram consequentemente o tombamento da obra indevidamente realizada (Fonte: Blog do BG, 2016).

No tocante ao mencionado anteriormente todos os fatores que otimizam o processo de deslizamento geram feições de instabilidade de talude, visíveis na Comunidade São José do Jacó através de trincas ao longo das moradias, terrenos e escadarias, embarrigamento de muros de contenção e inclinação de estruturas rígidas (Figura 5.4).



Figura 5.4: Feições de instabilidade da encosta, em (A) trincas em uma habitação de baixa infraestrutura, indicada pela seta amarela, e em (B) embarrigamento do muro de contenção construído por materiais inadequados, observar em vermelho a inclinação da obra diante da instabilidade do talude e a ausência de contrapesos na porção inferior da estrutura.

Por fim, além dos deslizamentos tem-se como problemática presente no setor os alagamentos, que por si só são naturais de Natal uma vez que a cidade foi construída sobre dunas, feições que naturalmente acumulam corpos d'água em porções de topografia incipiente. Mediante isso, a Comunidade São José do Jacó necessita de um sistema de drenagem eficaz que permita a infiltração e/ou escoamento das águas meteóricas, contudo o que se vê na área são métodos e técnicas antagônicas que promovem a concentração de água nas regiões mais baixas. Esse fenômeno marca os muros das construções através da coluna d'água uma vez acumulada. O fator rede de drenagem deficiente tem-se também como fator deflagrador bueiros clandestinos ocasionalmente obstruídos por resíduos sólidos (Figura 5.5).



Figura 5.5: Fatores deflagradores e evidências de alagamentos, em (A) observa-se a ausência de um sistema de drenagem eficaz, em que a água servida é liberada diretamente nas porções inferiores da encosta, em (B) a marca que expressa a altura que a coluna d'água atingiu em um momento de precipitação intensa, e em (C) bueiro clandestino com tela improvisada para evitar entupimento do canal (Fonte: França, 2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A precipitação é o principal elemento climático responsável pela deflagração de movimentos de massa e alagamentos em setores suscetíveis. Contudo, essa suscetibilidade normalmente é associada a uma escala de tempo geológica, que por sua vez é reduzida a uma escala de tempo humana devido à vulnerabilidade consequente da urbanização de setores com ausência de políticas públicas comprometidas com o bem-estar da população.

A vista disso, a Comunidade São José do Jacó pode ser caracterizada como uma área densamente habitada, de crescimento mal planejado, que se dispõe em uma região de altos e baixos que naturalmente acumula água em topografias incipientes, podendo ser também associada à desestabilização de encostas em períodos oportunos. A ocorrência desses processos

é agilizada por fatores antrópicos que compreendem redes de drenagens falhas, comprometimento da encosta por cobertura vegetal inapropriada, cortes de talude mal realizados, resíduos sólidos descartados de maneira errônea e edificações de pouca infraestrutura.

Desta maneira, e considerando que a população local já está familiarizada com o setor devido o tempo de habitação, a remoção das famílias é algo socialmente inviável e, portanto, a medida de maior expressão é a implantação de obras de drenagem que tenham a finalidade de conter, reter e/ou melhorar a condução dos escoamentos. Tendo também como iniciativas prudentes cuidados com a cobertura vegetal (retirada de bananeiras, coqueiros e árvores de grande porte), maior cautela com os descartes de resíduos (através de uma coleta seletiva eficiente e de educação ambiental dos moradores) e estruturas adequadas à concretização de cortes de talude, para que assim a mitigação seja alcançada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allmon W.D., Wall A.F. 2015. Fossils of the South Central US., *In*: Lucas M.D., Ross R.M., Swaby A.N. (Eds.). *The Teacher-Friendly Guide to the Earth Science of the South Central US. Paleontological Research Institution*, New York, Special Publication 48: 301–339.

Bezerra L.T.V. 2016. *Mapeamento de risco/perigo de movimentos de massa e avaliação da estabilidade das encostas na Comunidade São José do Jacó, em Natal/RN*. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 105p.

Blog do BG. 2016. Muro de Contenção na Comunidade do Jacó, em Natal, em estado crítico. Disponível em: <<https://www.blogdobg.com.br/fotos-muro-de-contencao-na-comunidade-do-jaco-em-natal-em-estado-critico/>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

Carvalho C.S., Galvão T. 2006. *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Relatório técnico, Brasília, Ministério das Cidades, 113p.

Carvalho C.S., Macedo E.S., Ogura A.T. 2007. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Relatório técnico, Brasília, Convênio Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas- IPT, 176p.

Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). 2017. *Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais*. Disponível em: <<https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/Material%20Did%C3%A1tico/BPRG%20202017/Processos%20Hidro%C3%B3gicos%202020Inunda%C3%A7%C3%B5es,%20Enchentes,%20Enxurradas%20e%20Alagamentos%20na%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Riscos.pdf>>. Acesso em: 08 janeiro de 2020.

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2016. *CPRM avalia metodologia para áreas de risco de queda de blocos em Vila Velha*. Disponível em: <<https://cprmblog.blogspot.com/2016/02/cprm-avalia-metodologia-para-areas-de.html>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

Diniz M.T.M., Pereira V.H.C. 2015. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, **35**(3): 488-506.

Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMPARN). 2018. *Precipitação Acumulada - Rio Grande do Norte*. Disponível em: <<http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/monitoramento/2018/acumulapr.htm>> Acesso em: 2 de janeiro de 2020.

Faria D. G. M. 2011. Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP). Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação e Área de Concentração em Geotecnia, Universidade de São Paulo. São Carlos, 214p.

Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage B. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, **102**: 85-98.

Fernandes C.V., Peixoto A.S.P., Kaiser I.M. 2018. Análise de Agentes Desencadeadores de Desastres Naturais Utilizando Simulação de Monte Carlo. In: In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 19, Salvador. *Anais...* Salvador, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11p.

Fonseca V.P., Sousa M.O.L., Silva F.O., Bezerra F.H.R., Amaral R.F., Souza, Z.S.; Ferreira A.C., Dutra R.R. 2012. *Carta Geológica – Folha Natal (SB-25-V-C-V), escala 1:100.00*. Natal, Serviço Geológico do Brasil- CPRM.

França V.V.D. 2018. *Análise da exposição a movimento de massa com uso de ARP – Aeronave Remotamente Pilotada na Comunidade São José do Jacó, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 94p.

Gonçalves Y., Oliveira M. 2016. Estudo de movimento de massa do tipo rastejo (creeping) no Morro do Benjamin, em São José- SC. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 11, Maringá. *Anais...* Maringá, União da Geomorfologia Brasileira. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/2/2-425-1743.html>> Acesso em: 14 de janeiro de 2020.

Gusmão Filho J. A. 2006. *Desempenho de obras geotécnicas*. Recife, Editora Universitária da UFPE, 523 p.

Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. 2014. The varnes classification of landslide types, na update. *Landslides*, **11**:167-194.

Kobiyama M., Mendonça M., Moreno D.A., Marcelino I.P.V.O., Marcelino, E.V., Gonçalves, E.F., Brazetti L.L.P., Goerl R.F., Molleri G., Rudorff F. 2006. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba, Organic Trading, 109p.

Lee S.H., Widjaja B. 2013. Phase concept for mudflow based on influence of viscosity. *Soils and Foundations* **53**(1): 77-90.

Licco E.A., Dowell S.F. 2015. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. *Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística Edição Temática em Sustentabilidade*, São Paulo, 5(3): 159-174.

Mabesoone J.M., Silva A.C., Beurlen K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, **2**:173-188.

Macedo E. S., Bressani L. A. 2013. *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo*. Relatório Técnico, São Paulo, ABGE, 88 p.

Montgomery C. W. 1992. *Environmental geology*. 3ª Ed. Dubuque: William C. Brown Publishers, 465p.

Neto J.M. 1999. *As coberturas sedimentares terciárias do interior da Paraíba e Rio Grande do Norte e a gênese da Antéclise da Borborema*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais/Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 170p.

Moreira M.M. 1996. Mapeamento Geotécnico do Município de Natal-RN e Áreas Adjacentes. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-028A/96, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 148p.

Moreira M.M., Souza N.M., Arraes K.A. 2019. Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados do município de Natal- RN: suscetibilidade e risco potencial de deslizamentos e inundações. In: Barbosa F. C. (Org.) *Engenharia e geotecnia: princípios fundamentais*. 1ª edição, Piracanjuba, Conhecimento Livre, p. 224-232.

Moreira M.M., Souza N.M., Arraes K.A. 2019. Carta geotécnica de susceptibilidade e risco potencial a movimentos gravitacionais de massa e inundações na região urbana de Natal- RN, Brasil. In: Andrade D.F. (Ed.) *Engenharia no Século XXI*. 1ª edição, Belo Horizonte, Poisson, p. 224-232.

Moreira M.M., Souza N.M., Cuellar M. D. Z., Arraes K.A. 2019. Aquífero Dunas-potengi: disponibilidade e potencialidade das águas em Natal- RN. In: Aguilera J. G., Zuffo A.M. (Orgs.) *Ciências Exatas e da Terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 2*. Ponta Grossa, Atena, p. 18-26.

Nunes L.S. 2011. *Dinâmica costeira entre as praias de Areia Preta e do Forte, Natal/RN*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Proin/Capes e Unesp/IGCE. 1999. Material Didático: arquivos de transparências (CD). Departamento de Geologia Aplicada, Rio Claro.

Santo A.R.S.E., Silva C.M.S. 2016. Características Climáticas da Cidade de Natal. *Parque da Cidade em Revista*. Natal, **2**(1): 23-27.

Silva C.R., Gomes I.C., Nascimento M.A.L. Costa W.F. 2010. *Natal: geografia e meio ambiente*. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. Natal, 18p.

Teodoro P.H.M., Nunes J.O.R. 2007. Os alagamentos em Presidente Prudente-SP: um trabalho interdisciplinar embasado no mapeamento geológico. *Revista Formação*. São Paulo, 2(17): 81-102.

Wiggers M.M. 2013. *Zoneamento das áreas de risco a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Caxias do Sul (RS)*. Dissertação de Mestrado, Instituto De Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 131p.