

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE

MARKES WALLEES SILVA CORDEIRO

**ÍNDICE DE RISCO A EROSÃO E MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO POR
EROSÃO DE SOLO EM NATAL-RN**

NATAL-RN

2018

MARKES WALLEES SILVA CORDEIRO

**ÍNDICE DE RISCO A EROSÃO E MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO POR
EROSÃO DE SOLO EM NATAL-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Mário Tavares de Oliveira
Cavalcanti Neto

NATAL-RN

2018

Cordeiro, Markes Walles Silva.
C794i Índice de risco a erosão e mapeamento das áreas de risco por erosão de solo em Natal-RN / Markes Walles Silva Cordeiro. – Natal, 2018.
117 f : il. color.

Dissertação (Mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
Orientadora: Dr. Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto.

1. Solos - Índice de risco a erosão. 2. Geoprocessamento.
3. Áreas de risco. I. Cavalcanti Neto, Mário Tavares de Oliveira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. III. Título.

CDU 551.3.053

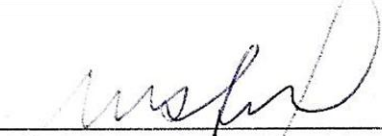
MARKES WALLEES SILVA CORDEIRO

**ÍNDICE DE RISCO A EROSÃO E MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO POR
EROSÃO DE SOLO EM NATAL-RN**

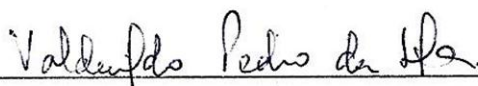
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Dissertação apresentada e aprovada em 16/02/2018, pela seguinte banca examinadora:

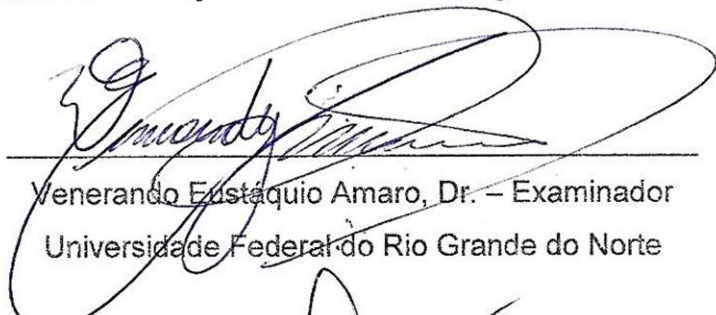
BANCA EXAMINADORA



Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto, Dr. – Presidente
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Valdenildo Pedro da Silva, Dr. – Examinador
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Venerando Eustaquio Amaro, Dr. – Examinador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Alexandre Magno Rocha da Rocha, Ms - Examinador
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

RESUMO

O Plano Municipal de Redução de Riscos em Natal-RN não abarca todo o município e está desatualizado há 10 anos, sendo o método utilizado de difícil atualização pelo seu caráter subjetivo. O presente trabalho objetivou mapear as áreas de risco a erosão de solo em todo o município, utilizando uma proposta de índice focada no geoprocessamento. Para tanto, foi adaptado um método de análise da fragilidade natural do solo para abarcar dados obtidos por Sistemas de Informações Geográficas. Um programa de geoprocessamento foi usado para confecção de mapas temáticos na escala de 1:100.000. Esses mapas foram utilizados como indicadores para criar o Índice de Risco a Erosão a partir da sobreposição aritmética. O Mapa de Risco a Erosão gerado abarca todo o território do município e identifica o risco a erosão de solo por meio de 5 classes, conforme o índice desenvolvido por esse trabalho. Visando ratificar o método, foram realizadas visitas de campo nas áreas de risco identificadas, somando 17 áreas visitadas em 8 bairros. O trabalho concluiu que o Índice de Risco a Erosão mensurou as áreas de risco a erosão de solo, podendo inclusive passar por novas atualizações apenas ao inserir dados futuros. Concluiu também que o Mapa de Risco a Erosão pode ser usado pela administração local como um zoneamento de risco para nortear as prioridades da gestão de riscos quanto a desastres naturais por erosão de solo.

Palavras-chave: Índice de Risco a Erosão. Geoprocessamento. Áreas de risco.

ABSTRACT

The Municipal Risk Reduction Plan in Natal-RN does not cover the whole municipality and is out of date for 10 years, being the method used difficult to update due to its subjective nature. The present work aimed to map the risk areas to soil erosion throughout the municipality using a proposal of index focused in geoprocessing. For that, a method of analysis of the natural fragility of the soil was adapted to include data obtained by Geographic Information Systems. A geoprocessing program was used to produce thematic maps in the 1: 100,000 scale. These maps were used as indicators for creating the Erosion Risk Index from the arithmetical overlap. The Map of Risk to Erosion generated covers the whole territory of the municipality and identifies the risk of soil erosion by means of 5 classes, according to the index developed by this work. In order to ratify the method, field visits were carried out to verify the identified risk areas and to carry out photographic records, adding 17 visitor areas in 8 neighborhoods. The work concluded that the Erosion Risk Index measured the risk areas to soil erosion, including in a way that can be updated when inserting new data. It also concluded that the Erosion Risk Map can be used by local management as a risk zoning to guide priorities of the risk management for natural disasters due to soil erosion.

Keywords: Erosion Risk Index. Geoprocessing. Risk areas.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 5 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZANDO O TEMA E A PROBLEMÁTICA | 5 |
| 1.2 | HIPÓTESE | 7 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 7 |
| 1.4 | JUSTIFICATIVA | 7 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1 | DESASTRES NATURAIS | 11 |
| 2.1.1 | Desastres naturais no mundo | 11 |
| 2.1.1.1 | Gestão urbana e risco a desastres naturais | 14 |
| 2.1.1.2 | Mapeamento e avaliação de áreas de risco | 16 |
| 2.1.2 | Desastres naturais no Brasil | 18 |
| 2.1.3 | Desastres naturais em Natal | 19 |
| 2.1.4 | Plano Municipal de Redução de Riscos | 21 |
| 2.1.4.1 | Aspectos metodológicos | 22 |
| 2.1.4.2 | Instrumentos de prevenção e intervenção | 26 |
| 2.1.5 | Desastre pela erosão do solo | 26 |
| 2.2. | TEORIA DA ECODINÂMICA | 27 |
| 2.2.1 | Níveis ecodinâmicos | 28 |
| 2.2.2 | Classificação dos meios | 29 |
| 2.3 | FRAGILIDADE NATURAL | 29 |
| 2.3.1 | Erodibilidade do solo | 31 |
| 2.4 | RECURSOS NATURAIS | 31 |
| 2.4.1 | Sustentabilidade urbana | 32 |
| 2.5 | ÁREAS DE RISCO | 32 |
| 2.5.1 | Perigo | 33 |
| 2.5.2 | Vulnerabilidade | 33 |
| 2.5.3 | Risco | 35 |
| 2.6 | GEOPROCESSAMENTO | 35 |
| 2.6.1 | Sensoriamento remoto | 36 |
| 2.6.2 | Fotointerpretação | 36 |
| 2.6.3 | Álgebra de mapas | 37 |
| 2.7 | ÍNDICE | 38 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3 | METODOLOGIA E RECURSOS UTILIZADOS | 39 |
| 3.1 | DEFINIÇÃO DO MÉTODO | 40 |
| 3.2 | AQUISIÇÃO DE DADOS | 43 |
| 3.3 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 45 |
| 3.3.1 | Clima | 45 |
| 3.3.2 | Vegetação | 45 |
| 3.3.3 | Relevo e solo | 45 |
| 3.3.4 | Geologia e geomorfologia | 47 |
| 3.3.5 | Hidrologia e hidrogeologia | 47 |
| 3.4 | CONFECÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS | 48 |
| 3.4.1 | Declividade | 48 |
| 3.4.2 | Escoamento | 50 |
| 3.4.3 | Vegetação | 52 |
| 3.4.4 | Geologia | 54 |
| 3.4.5 | Uso | 57 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 60 |
| 4.1 | MAPA DE RISCO A EROSÃO | 60 |
| 4.2.1 | Planalto | 63 |
| 4.2.2 | Lagoa Nova | 71 |
| 4.2.3 | Cidade Nova | 77 |
| 4.2.4 | Areia Preta | 82 |
| 4.2.5 | Parque das Dunas | 85 |
| 4.2.6 | Ponta Negra | 87 |
| 4.2.7 | Ribeira | 93 |
| 4.2.8 | Pitimú | 96 |
| 4.3 | GESTÃO DE RISCO | 100 |
| 4.3.1 | Zoneamento de risco | 101 |
| 4.3.2 | Aplicação do IRE | 101 |
| 5 | CONCLUSÃO | 103 |
| | REFERÊNCIAS | 105 |
| | ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO | 111 |
| | ANEXO B – OFÍCIO N° 105/2017-DIAREN/IFRN ENVIADO A SEMDES | 112 |
| | ANEXO C – OFÍCIO N° 54/2017-DIAREN/IFRN ENVIADO A SEMURB | 113 |

1 INTRODUÇÃO

A introdução desta pesquisa é construída ao contextualizar o tema e sua problemática, assim como uma hipótese, os objetivos e a justificativa.

1.1 CONTEXTUALIZANDO O TEMA E A PROBLEMÁTICA

As cidades alteram o ambiente ao seu redor para atender as necessidades da expansão do território, ocupando cada vez mais áreas naturais. Porém, quando o crescimento urbano atinge áreas naturalmente instáveis, como solos sujeitos à erosão e encostas íngremes, a ocupação humana fica à mercê de eventos naturais que podem causar danos à sociedade.

A expansão urbana sem planejamento é o principal meio pelo qual a sociedade contribui para a ocorrência de movimentos de massa, ao remover a camada vegetal, alterar o relevo, entre outras intervenções humanas (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

As fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas dentro de um planejamento territorial e ambiental (ROSS, 1992).

O município do Natal apresenta uma urbanização presente em todo o seu território, seja na zona costeira, dentro de áreas de proteção ambiental ou locais com histórico de desastres naturais. Destaca-se que a prevenção de desastres deve ser parte da gestão urbana do município (CARVALHO; GALVÃO, 2006).

A prefeitura do Natal produziu seu Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) no ano de 2008 (PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL, 2008), no qual trata sobre a prevenção e mitigação de desastres naturais. Contudo, esse plano abrange apenas as áreas de assentamentos precários, não todo o município. Até o momento não houve atualização desse plano.

Medidas para reduzir os riscos a desastres naturais são imprescindíveis para a gestão urbana. Porém, deve-se evitar adotar apenas medidas de correção, considerando as limitações de ações emergenciais para reduzir os impactos ambientais e os danos a vida urbana (JACOBI, 2006).

Entendendo as limitações de ações corretivas, pois podem ocorrer perdas irreversíveis em um desastre natural, o ideal seria priorizar ações preventivas. Mas para dimensionar e propor essas ações preventivas, se mostram necessárias duas

informações importantes: conhecimento de cada grau de risco de todo o território e um mapa de risco com dados atualizados. Contudo, o atual PMRR do Natal não soluciona esses dois fatores, haja vista que apresenta dados desatualizados em quase 10 anos e os riscos foram avaliados apenas em áreas ocupadas por assentamentos precários. Dentro desse cenário, se torna difícil inibir o crescimento urbano desordenado em áreas que podem ser de risco, mas que não foram avaliadas ainda.

Considerando que uma expansão urbana irregular está associada à remoção da vegetação, terraplenagem no sopé de dunas, entre outras ações, pode-se dizer que os impactos ambientais, nesse contexto, tendem a agravar o risco a desastres naturais. Nesse caso, um crescimento urbano cunhado em uma ideia de sustentabilidade urbana poderia não só minimizar possíveis impactos ambientais como também evitar o agravamento do risco de desastres naturais. Mas para tal proposição, referente ao município do Natal, se mostra necessária a atualização do PMRR, assim como a elaboração de um método de mapeamento que subsidie um cálculo do risco a desastres em qualquer área, mesmo as que não estão ocupadas ainda. O método de avaliação adotado no PMRR de 2008 não foi exposto detalhadamente no documento, dificultando assim realizar uma revisão e atualização, por parte da própria Prefeitura Municipal do Natal, seguindo a mesma metodologia. O presente estudo foi focado nos processos erosivos que podem ocasionar desastres naturais por movimento de massa.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se apresentam como um meio de análise territorial eficiente para realização de mapeamentos. Com uso de ferramentas de geoprocessamento e interpretação de imagens de satélite é possível analisar todo um município e estabelecer um método de avaliação técnica (FITZ, 2008).

O mapeamento das áreas de risco a desastres naturais pela erosão pode ser feito por meio do geoprocessamento, utilizando-se um *software* de SIG para identificar, mensurar, interpretar, projetar, classificar e avaliar os fatores mais pertinentes para o estudo em questão. Após a contextualização do tema, o problema partiu dos seguintes questionamentos:

1. Que índice usar para mensurar o risco a erosão do solo no município do Natal-RN?

2. Que mapa usar para identificar as áreas de risco a erosão de solo no município do Natal-RN?

1.2 HIPÓTESE

Este trabalho partirá da hipótese de que é possível elaborar um índice para mensurar o risco a erosão e mapear as áreas de risco a desastres naturais por erosão de solo em todo o território do município do Natal-RN usando ferramentas de geoprocessamento.

1.3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral propor um índice de risco a erosão para mapear as áreas de risco de todo o município do Natal-RN utilizando ferramentas do geoprocessamento.

Os objetivos específicos consistem em:

- a) analisar informações geográficas, coletadas por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento;
- b) aplicar uma metodologia adaptada para mensurar a fragilidade da área estudada quanto aos processos erosivos;
- c) confeccionar mapas temáticos de geologia, vegetação, declividade, escoamento e uso, dividindo cada um em 5 classes;
- d) confeccionar um Mapa de Risco a Erosão para todo o município do Natal-RN a partir da sobreposição aritmética dos mapas temáticos;
- e) realizar visitas de campo para verificar os resultados obtidos no Mapa de Risco a Erosão.

1.4 JUSTIFICATIVA

O presente estudo é justificado principalmente por três motivos: (i) as poucas publicações relativas ao tema escolhido por este estudo se restringem a pequenos trechos do município, (ii) os dados do PMRR do Natal estão desatualizados e (iii) o

mapa de risco do PMRR do Natal abrange apenas os assentamentos precários, deixando sem avaliação as demais áreas do município de Natal.

Quando se refere a prevenção de desastres em áreas de risco, existem pelo menos três fatores diretamente afetados: ecossistema, estruturas urbanas e vidas humanas. Logo, as medidas preventivas são essenciais para preservar a integridade de tais fatores, pois uma medida corretiva pode não reparar perdas irreversíveis.

Para identificar a necessidade do presente estudo foi realizada uma pesquisa sobre mapeamento de áreas de risco aos desastres naturais em Natal-RN. Esta pesquisa foi feita em periódicos, repositórios, revistas e outras formas de publicação em meio virtual, sendo encontrados apenas 5 trabalhos diretamente relacionados ao mapeamento proposto por este estudo, conforme Quadro 1:

Quadro 1 – Trabalhos publicados relacionados ao mapa de risco de Natal-RN

| TRABALHOS PUBLICADOS | AUTORES | ANO |
|--|--|------------|
| Vulnerabilidade socioambiental em escala de detalhe: o caso de Mãe Luiza, Natal-RN, Brasil | MACEDO, Y. M. et al. | 2015 |
| Uso de metodologia analítica para mapeamento de exposição ao risco de deslizamento na comunidade de São José do Jacó, Natal-RN | SILVA, E. E. S. ALMEIDA, L.Q. MACEDO, Y.M. | 2015 |
| Carta geotécnica do município de Natal-RN: áreas de risco de deslizamentos e inundações | MOREIRA, M. M. et al. | 2014 |
| Mapeamento de risco geomorfológico na comunidade do Jacó, Rocas, Natal-RN | SILVA, E. E. S. et al. | 2014 |
| Plano Municipal de Redução de Riscos do Natal | NATAL | 2008 |

Fonte: Autoria própria (2017).

A Carta Geotécnica do Município de Natal-RN: Áreas de Risco de Deslizamento e Inundações (MOREIRA et al., 2014) apresentaria uma produção importante para o mapeamento de risco proposto por este estudo. Contudo, representa apenas um pequeno trecho do município e seu método consiste em uma análise de campo.

Os outros três trabalhos são mais atuais, mas representam um mapeamento parcial comparado ao recorte escolhido por este estudo (todo o município).

Considerou-se baixo o número de trabalhos relacionados a confecção de um mapa de risco em Natal para a desastres naturais por erosão de solo (movimento de massa, deslizamentos, etc.), frente à alta relevância deste tema, sendo apenas 5 em um período de 10 anos.

A prefeitura do Natal publicou seu Plano Municipal de Redução de Riscos em 2008. Este plano apresenta um mapeamento das áreas de risco, medidas preventivas contra desastres naturais, mensuração de custos, entre outras informações. Mas informações desatualizadas podem ser ineficientes, principalmente se o método adotado não for acessível para atualização. Por este motivo se percebe a necessidade em elaborar outra metodologia de mapeamento e avaliação do risco, apresentada de forma clara para posteriores atualizações.

Outro ponto negativo do atual Plano Municipal de Redução de Riscos do Natal é que esse se concentrou apenas em áreas de comunidades precárias (Áreas Especiais de Interesse Social), deixando todo o resto do município fora do mapa de risco municipal.

No PMRR foi adotado um método de “verificação de indícios” para avaliar o grau de risco. Esta metodologia possui um caráter muito intuitivo, marcada pela análise subjetiva e observações em campo. Comumente, este tipo de método pode ser difícil para pesquisadores reanalisarem os dados e resultados, haja vista que os critérios de mensuração podem ser atribuídos subjetivamente.

Este estudo se concentrará em um método mais técnico e menos intuitivo, em conjunto com o geoprocessamento, para definição do grau de risco destas áreas, deixando uma metodologia acessível para ser usada ou revisada por outros pesquisadores. O uso de SIG neste trabalho visa realizar uma mensuração com o mínimo de atribuições subjetivas, norteadas principalmente por operações e cálculos típicos do geoprocessamento. As visitas de campo serão realizadas apenas para ratificar ou retificar os resultados obtidos pelo geoprocessamento.

Espera-se que o resultado final consista em uma metodologia eficiente, com dados georeferenciados para futuros pesquisadores poderem atualizar o mapa de risco a erosão, inclusive visando nortear trabalhos mais detalhados em menor escala. Dessa forma, viabilizando inclusive as diretrizes da Lei federal nº 12.608, de

10 de abril de 2012 (Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil), de identificar, mapear e atualizar as áreas de risco do município.

Com a conclusão deste estudo, pretende-se apresentar os resultados à Prefeitura Municipal do Natal para subsidiar decisões, relativas à gestão urbana e ambiental da cidade, quanto aos desastres naturais originados por erosão de solo. Dessa forma, o trabalho científico proveniente deste mestrado profissional poderá contribuir para a sociedade e o meio acadêmico dentro do tema estudado. Como requisito para a defesa deste trabalho foi submetido a Revista Brasileira de Gestão Ambiental & Sustentabilidade, qualis B2, um artigo-científico de revisão de literatura relativo ao tema, conforme comprovante de submissão no Anexo A.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico apresenta os conceitos que fundamentaram a pesquisa realizada, tais como: desastres naturais, teoria da ecodinâmica, fragilidade natural, recursos naturais, áreas de risco, geoprocessamento e índice.

2.1 DESASTRES NATURAIS

Considerando que “[...] cada fração de território tem uma condição intrínseca que, em interação com o tipo e magnitude do evento que induzimos, resulta numa grandeza de efeitos adversos” (SANTOS, 2007, p. 18), entende-se risco como uma possibilidade de desastre que pode ou não acontecer. Contudo, o risco só existe quando há algum bem, material ou imaterial, valorizado pela sociedade (NICOLODI; PETERMANN, 2010).

Grandes impactos ambientais podem causar um desequilíbrio, com isso, dificultando a resiliência natural do ambiente. Este conceito de resiliência pode ser entendido como “a capacidade que tem um sistema de enfrentar distúrbios mantendo suas funções e estruturas” (VEIGA, 2010, p. 17).

A degradação ambiental pode aumentar a possibilidade de desastres naturais, dessa forma, transformando uma área degradada em uma área de risco (SANTOS, 2007).

“Quanto à origem ou causa primária do agente causador, os desastres podem ser classificados em: naturais ou antropogênicos” (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009, p. 14).

Desastres naturais representam os processos da natureza que ocorrem independente das ações antrópicas. Esses desastres ainda podem ser agravados por atividades humanas. Os desastres antropogênicos são resultantes das atividades humanas ou de sua omissão, como incêndios urbanos, contaminação de rios, entre outros (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

2.1.1 Desastres naturais no mundo

Para este tema foi realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados *Science Direct* e *Scopus* com a finalidade de identificar a relação entre os temas:

áreas de risco, desastres naturais, sistemas de informação geográfica (SIG) e erosão. Essas bases foram escolhidas por apresentarem uma ampla diversidade de áreas de pesquisa, assim como trabalhos internacionais. Nenhum filtro foi usado nessa busca.

As buscas foram iniciadas no dia 3 de novembro de 2017 e concluídas no mesmo mês. As palavras-chave foram usadas em inglês nas buscas para alcançar trabalhos internacionais, sendo estas: *risk areas*, *erosion*, *natural disaster*, e *GIS* (*geographic information system*). Os trabalhos sem identificação de seus autores não foram analisados.

A busca obteve 65 resultados no *Science Direct* e 3 resultados no *Scopus*. Os artigos com acesso pago foram analisados com base no método e conclusões contidas nos seus resumos disponíveis gratuitamente. Depois de analisar os métodos e resultados de cada trabalho encontrado na referida busca, foram mantidos 23 trabalhos, sendo 21 pelo *Science Direct* e 2 pelo *Scopus*, descartando o restante por não abarcarem o tema satisfatoriamente. Alguns artigos descartados apresentavam abordagens relacionadas a desastres diferentes do pretendido por esta pesquisa, como inundações, furacões, secas e tempestades.

Ao avaliar os trabalhos mantidos, foram encontrados alguns temas e correlações entre áreas de risco a desastres naturais por erosão e uso de SIG. Os autores estudados foram: Chunye e Delu (2017), Gao e Sang (2017), Getzner et al. (2017), Falconer et al. (2017), Nguyen, Tyler e Tong (2017), Rumson, Hallett e Brewer (2017), Satta et al (2017), Zhou, Pan e Zhou (2017), Bonaiuto et al. (2016), Souisa, Hendrajaya e Handayani (2016), Boughedir (2015), Inouyr et al. (2015), Prawiranegara (2014), Andersson-Sköld et al. (2013), Listo e Vieira (2012), Othman et al. (2012), Mahendra et al. (2011), Di et al. (2010), Di et al. (2008), Tran e Shaw (2007), Gómez e Kavzoglu (2005), Dattilo e Spezzano (2003) e Canuti et al (2000).

Muitos trabalhos encontrados são estudos de caso de diferentes territórios do mundo, como China, Vietnã, Malásia, Argélia, Áustria, Brasil e Itália. Para melhor visualizar o resultado quantitativo desta pesquisa, os artigos foram organizados por periódicos ou revistas, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Número de artigos sobre áreas de risco, desastres naturais, SIG e erosão

| Título do periódico ou revista | Número de artigos |
|---|--------------------------|
| Comprehensive Geographic Information Systems | 1 |
| Current Opinion in Environmental Sustainability | 1 |
| Engineering Geology | 1 |
| Earth and Environmental Science | 1 |
| Environmental Hazards | 1 |
| Forest Policy and Economics | 1 |
| Geomorphology | 1 |
| International Journal of Disaster Risk Reduction | 3 |
| International Journal of Sediment Research | 1 |
| Journal of Cultural Heritage | 1 |
| Journal of Environmental Psychology | 1 |
| Journal of Physics: Conference Series | 1 |
| Marine Policy | 1 |
| Ocean & Coastal Management | 3 |
| Parallel Computing | 1 |
| Procedia - Social and Behavioral Sciences | 2 |
| Remote Sensing of Environment | 1 |
| Science and Technology in Disaster Risk Reduction in Asia | 1 |
| Total de artigos | 23 |

Fonte: *Science Direct e Scopus* (2017).

Em relação aos trabalhos publicados nos últimos 17 anos, houve mais títulos referentes a 2017, conforme o Quadro 3, apresentando um resultado atualizado quanto ao tema deste trabalho.

Quadro 3 – Número de artigos sobre áreas de risco, desastres naturais, SIG e erosão nos últimos 17 anos

| Ano | Número de artigos |
|------------|--------------------------|
| 2017 | 8 |
| 2016 | 2 |

| | |
|-------|----|
| 2015 | 2 |
| 2014 | 1 |
| 2013 | 1 |
| 2012 | 2 |
| 2011 | 1 |
| 2010 | 1 |
| 2008 | 1 |
| 2007 | 1 |
| 2005 | 1 |
| 2003 | 1 |
| 2000 | 1 |
| Total | 23 |

Fonte: *Science Direct e Scopus* (2017).

Com esse levantamento foi possível identificar as relações entre áreas de risco a desastres naturais por erosão e uso de SIG.

Para melhor discutir os resultados desta pesquisa, os diferentes temas relacionados a este estudo foram organizados da seguinte forma: gestão urbana e risco a desastres naturais; e mapeamento e avaliação de áreas de risco.

2.1.1.1 Gestão urbana e risco a desastres naturais

A gestão de risco no ambiente urbano é constituída por muitas variáveis, passando pela condição socioeconômica da população até a estabilidade geomorfológica do ambiente.

A parcela pobre da população urbana pode ser a mais vulnerável a desastres naturais, principalmente quando inserida em áreas periféricas que estão em constante expansão (NGUYEN; TYLER; TONG, 2017).

Gao e Sang (2017) confeccionaram um mapa de risco a desastre natural por deslizamento de terra e constataram que a erosão do solo é agravada por ações antrópicas, como a agricultura em encostas íngremes, a degradação da cobertura vegetal e a construção de estradas devido à expansão urbana, sendo estas fortes condicionantes para áreas de risco.

Dentro da gestão de riscos, existem conceitos novos em desenvolvimento, como o *ecological red line* (ERL), que consistem em uma abordagem econômica e ambiental do território, considerando a importância da preservação ecológica, desenvolvimento econômico sustentável e proteção de vidas humanas (CHUNYE; DELU, 2017).

Outra abordagem desenvolvida por Satta et al. (2017), chamada de *Coastal Risk Index* (CRI-MED), pode ser usada para identificar áreas de risco a erosão e inundação costeira, mensurando o risco em vários países como Síria (30,5%), Líbano (22,1%), Egito (20,7%) e Palestina (13,7%). Os mapas foram confeccionados pelo CRI-MED, ferramentas importantes para a tomada de decisão do governo local quanto ao adensamento urbano, infraestrutura e atividades econômicas.

Um fator também importante é a preservação das florestas, pois a vegetação pode proteger casas e infraestruturas (trilhos, rodovias, etc.) contra desastres naturais como avalanches, deslizamentos de terra e queda de rochas (GETZNER et al., 2017).

Considerando os prejuízos econômicos e perdas humanas que podem ser causados por desastres naturais, Di et al. (2008) verificaram que na China o risco geológico para queda de rochas, ou fluxo de detritos, em regiões montanhosas é alto e estimou que desastres naturais provenientes desses movimentos de massa podem causar prejuízo de até 250 dólares e deixar até 600 pessoas feridas ou mortas por ano.

Dentro desse contexto de prejuízo econômico, Andersson-Sköld et al. (2013) concluíram, em seus estudos, que a aplicação de mapas de risco de deslizamento de terra para subsidiar medidas preventivas e planejamento urbano, em áreas de risco, torna-se viável economicamente ao evitar prejuízos financeiros causados por possíveis desastres naturais.

Souisa, Hendrajaya e Handayani (2016) constataram, ao estudar uma ilha na Indonésia, que para regiões suscetíveis a erosão e deslizamentos de terra um mapa de risco é essencial no ordenamento do território urbano na prevenção de desastres naturais.

Outro fator importante para a gestão de riscos é a percepção da população quanto aos desastres naturais. Bonaiuto et al. (2016) verificaram em sua pesquisa que indivíduos fortemente ligados ao seu local de moradia percebem riscos naturais, mas subestimam seus efeitos potenciais, assim como também não estão dispostos a

se mudar, mesmo após perceberem o risco, e são mais propensos a retornar as áreas de risco depois de um desastre natural.

2.1.1.2 Mapeamento e avaliação de áreas de risco

O SIG fornece um procedimento eficaz para uma análise espacial e integrada, viabilizando informações essenciais sobre as condições intrínsecas e externas de risco geomorfológico aos processos físicos como erosão e deslizamento de terra (CANUTI et al., 2000).

Essas condições de riscos geomorfológicos foram analisadas por Zhou, Pah e Zhou (2017), junto com o SIG, utilizando a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) para calcular a perda de solo por processos erosivos em uma região da China, constatando que o solo exposto acompanhado de impactos causados pelo cultivo excessivo levam ao agravamento da erodibilidade natural do ambiente.

Di te al. (2008) elaboraram um mapa de risco a movimento de massa (queda de rochas) usando dados meteorológicos disponíveis, um modelo de elevação digital e um mapa geológico regional. Esse tipo de aplicação é a mais comum dentro do geoprocessamento. Mas também pode ser combinada com outro método, como Othman et al. (2012) fizeram ao utilizar o *Multicriteria decision-making* (MCDM) junto com o SIG ao mapear áreas de risco, estabelecendo critérios e pesos para depois confeccionar os modelos de mapas.

Outras técnicas de geoprocessamento podem viabilizar medidas preventivas de forma eficiente, como o método utilizado por Boughedir (2015) que foi baseado no histórico de catástrofes, fotografias aéreas, imagens de satélite, modelos digitais de terreno, bancos de dados e SIG para realizar uma avaliação de risco, possibilitando criar um prognóstico até o ano de 2030 para uma cidade na Argélia.

No âmbito da discussão sobre ERL, citado anteriormente, Chunye e Delu (2017) avaliaram fatores como sensibilidade ecológica e risco a desastres naturais utilizando um método chamado de *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com sobreposição de mapas. Já Othman et al. (2012) utilizaram o mesmo método de AHP em conjunto com o SIG para avaliar o risco ao deslizamento de terra. Estes autores explicam que o método AHP consiste em determinar parâmetros e pesos com base na literatura e na opinião de especialistas da área para se chegar a um índice de risco.

Dentro desses parâmetros pertinentes a avaliação de risco, o fator declividade é o mais significativo para o risco a deslizamento de terra, seguido de outros fatores secundários como geologia, uso do solo e drenagens pluviais. Precipitação e terremotos são calculados como eventos que desencadeiam o deslizamento e não como fatores do modelo de risco (OTHMAN et al., 2012).

Contudo, um mapa de risco de movimento de massa pode ser gerado com parâmetros físicos e sociais ao combinar o risco físico e a vulnerabilidade socioeconômica da região (DI et al., 2008).

Logo, as atividades humanas podem apresentar um fator significativo para tal avaliação. Di et al. (2010) identificaram o risco a deslizamento de terra, desencadeado por terremoto, comparando mapas de elevação digital (declividade), uso do solo e cobertura de vegetação, verificando que as encostas sem cobertura vegetal, e outros locais de alto risco, ficaram gravemente fragilizados aos processos erosivos.

Porém, alguns métodos são mais focados em análises estatísticas. Listo e Vieira (2012) realizaram uma avaliação do risco a deslizamento de terra combinando um modelo matemático chamado de *Shallow Landsliding Stability* (SHALSTAB) junto com um cálculo de distribuição de frequência para estabelecer 5 classes de risco em uma bacia hidrográfica em São Paulo.

Outra forma de avaliação de risco pode ser mais focada em novas tecnologias, como no caso de Dattilo e Spezzano (2003) que utilizaram um simulador chamado de *Cellular Automata Environment for Systems Modeling Open Technology* (CAMELOT) para identificar áreas de risco a desastres naturais por deslizamento de terra, visando ajudar a calcular mapas de risco e projetar obras de proteção, mostrando de forma interativa, fenômenos complexos processados em um ambiente virtual.

Estas novas tecnologias também podem ser combinadas com o SIG, como Gómez e Kavzoglu (2005) fizeram ao aplicar um método chamado de *Artificial Neural Networks* (ANN) junto com parâmetros de instabilidade por declividade derivados de Modelos de Elevação Digital, imagens de sensoriamento remoto e dados documentais para analisar o risco de deslizamento de terra em áreas instáveis. Esse autor cita inclusive que o resultado final apresentou 90% de exatidão para o uso de zoneamento do risco a deslizamentos. Esses explicam que o Método

ANN consiste em um algoritmo que aprende e se reprograma conforme analisa os dados obtidos.

2.1.2 Desastres naturais no Brasil

Os desastres naturais mais comuns no Brasil são inundações, enchentes, escorregamentos de solos ou rochas (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Estes desastres, no Brasil, estão associados a uma ocupação urbana sem planejamento, que possui o potencial de provocar diversos impactos ambientais, como remoção da cobertura vegetal, obstrução das redes de drenagem, acúmulo de lixo, entre outros (SANTOS, 2007).

Conforme Santos (2007, p. 11), “[...] cerca de 50% dos municípios brasileiros declararam ter sofrido algum tipo de alteração ambiental [...], dentre estes, cerca de 16% sofreram com deslizamento de encosta e 19% com inundações”. Esse autor ainda cita que:

[...] dos municípios que sofrem com deslizamento de terra, 25% associam esse fenômeno à degradação de áreas protegidas e à ocupação irregular de áreas frágeis, outros 34% atribuíram como causa o desmatamento” (SANTOS, 2007, p. 11).

“Os riscos de erosão no âmbito de muitas cidades brasileiras têm causado sérios problemas para a população, principalmente para quem habita as áreas declivosas e/ou acidentadas”. (RAMALHO, 2010, p. 162).

Diante dessas informações, mesmo sendo uma pesquisa de 10 anos atrás, percebe-se que os desastres mais comuns no Brasil são agravados por impactos ambientais proveniente de atividades antrópicas. Por exemplo, em Natal predomina um solo arenoso e a remoção da cobertura vegetal tende a acelerar os processos erosivos, pois expõe este solo a ação dos ventos e das chuvas (RAMALHO; FERNANDES; SOUSA, 2011).

No ano de 2012 foi instituído o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) pela lei federal nº 12.608. Esta lei estabelece as competências federais, estaduais e municipais quanto a redução de riscos a desastres naturais. Nessa lei também foram ratificados conceitos expostos no Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001).

Dentre as disposições do PNPDEC está a necessidade dos municípios em identificar e mapear as áreas de risco de desastres, assim como manter a população informada sobre estas áreas, incorporar as ações da defesa civil como parte do planejamento urbano e adequar seus planos diretores quanto as áreas com risco de desastres naturais (BRASIL, 2012).

O Observatório dos Desastres Naturais, administrado pela Confederação Federal de Municípios do Brasil, estima que os desastres naturais decorrentes de chuvas em excesso podem ter gerando um prejuízo de mais de R\$ 20,4 bilhões entre os anos de 2012 e 2015 (BRASIL, 2016). Este estudo cita que:

Os alagamentos, as enxurradas, as inundações e os deslizamentos de terra destruíram e danificaram milhares de edificações públicas e particulares, casas, postos de saúde, escolas, estabelecimentos comerciais, assim como ruas, pontes, carros, postes de energia etc. (BRASIL, 2016, p. 2).

2.1.3 Desastres naturais em Natal

A Defesa Civil de Natal, Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social (SEMDES), forneceu, conforme solicitado por ofício (Anexo B), dados relativos a ocorrências de desastres naturais nos anos de 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017. Estas ocorrências foram registradas por data, endereço (incluindo o número da residência), bairro, patologia (alagamento, solapamento, infiltração, etc.), resposta (vistoria, interdição e desinterdição) e contato (residente ou responsável pela residência). O Quadro 4 mostra o registro dividido por número de ocorrências, ano e bairros atendidos.

Quadro 4 – Número de ocorrências por ano e bairro

| Nº de ocorrências registradas | Ano | Bairros atendidos |
|--------------------------------------|------------|---|
| 1 | 2011 | Mãe Luiza. |
| 4 | 2012 | Cidade Alta, Nossa Senhora da Apresentação e Tirol. |
| 10 | 2013 | Capim Macio, Cidade da Esperança, Candelária, Guarapes, Neópolis, Nordeste, Pajuçara e Ribeira. |

| | | |
|-----|------|---|
| 20 | 2014 | Alecrim, Areia Preta, Bom Pastor, Capim Macio, Cidade Alta, Mãe Luiza, Morro Branco, Nossa Senhora de Nazaré, Pajuçara e Rocas. |
| 312 | 2015 | Alecrim, Areia Preta, Barro Vermelho, Bom Pastor, Candelária, Capim Macio, Cidade da Esperança, Dix-Sept Rosado, Felipe Camarão, Guarapes, Igapó, Lagoa Azul, Lagoa Nova, Mãe Luíza, Neópolis, Nordeste, Nossa Senhora da Apresentação, Nossa Senhora de Nazaré, Nova Descoberta, Pajuçara, Petrópolis, Pitimbu, Planalto, Ponta Negra, Potengi, Quintas, Redinha, Ribeira, Rocas, Santos Reis e Tirol. |
| 179 | 2016 | Alecrim, Barro Vermelho, Candelária, Capim Macio, Cidade Alta, Cidade Nova, Dix-Sept Rosado, Felipe Camarão, Lagoa Azul, Lagoa Nova, Mãe Luíza, Nordeste, Nossa Senhora da Apresentação, Pajuçara, Petrópolis, Pitimbu, Planalto, Ponta Negra, Potengi, Quintas, Ribeira, Rocas, Santos Reis e Tirol. |
| 255 | 2017 | Alecrim, Bom Pastor, Capim Macio, Cidade Alta, Cidade Nova, Cidade da Esperança, Dix-Sept Rosado, Felipe Camarão, Igapó, Lagoa Azul, Lagoa Nova, Mãe Luíza, Nordeste, Nossa Senhora da Apresentação, Nossa Senhora de Nazaré, Nova Descoberta, Pajuçara, Petrópolis, Pitimbu, Planalto, Praia do Meio, Ponta Negra, Potengi, Quintas, Redinha, Ribeira, Rocas e Tirol. |

Fonte: Adaptado de Natal (2017).

No dia 13 de junho de 2014 uma encosta do bairro de Mãe Luiza sofreu um forte processo erosivo desencadeado pela ocorrência de chuvas, culminando em um grave deslizamento de terra, nesse caso chamado de “corrida de areia”. Equipamentos públicos e residências na Rua Guanabara já estavam sendo afetadas

pela erosão do solo, mas foi no dia 15 de junho de 2014 (madrugada do domingo) que os processos causaram maior destruição (RIO GRANDE DO NORTE, 2016).

No estudo realizado pelo Ministério Público do RN, junto com a Universidade Federal do RN, foi verificado que “[...] o que induziu e facilitou o processo da ‘corrida de areia’ e abertura da grande cratera foi a permanência de um buraco aberto na Rua Guanabara [...] (RIO GRANDE DO NORTE, 2016, p. 10)”. Este buraco foi gerado por uma obstrução no sistema de drenagem e saneamento. A prefeitura do Natal ainda solicitou à Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN) para solucionar o problema, mas este não foi resolvido. Ainda em 2014 o Ministério Público do RN ingressou na justiça com uma Ação Civil Pública contra a Prefeitura Municipal do Natal (RIO GRANDE DO NORTE, 2016).

O relatório solicitado pelo Ministério Público do RN concluiu que as causas do desastre foram 3 fatores: chuvas intensas na área de risco, supressão da vegetação natural da encosta e drenagens artificiais inadequadas para as características físicas da área.

Posteriormente, a Prefeitura Municipal do Natal realizou uma obra de contenção, nomeada de Escadaria de Mãe Luiza, na parte diretamente afetada pelo desastre.

2.1.4 Plano Municipal de Redução de Riscos

A Prefeitura do Natal iniciou os planejamentos contra desastres naturais quando concluiu o seu Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) em 2008 (NATAL, 2008). Neste documento foram identificados os riscos presentes apenas em assentamentos precários dentro da cidade, somando ao todo 74 áreas de risco. Estes assentamentos precários são classificados como Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS), pois “[...] se configuram a partir da dimensão sócio-econômica e cultural da população, com renda familiar predominante de até 3 (três) salários-mínimos [...] (NATAL, 2008, p.79).

O PMRR de Natal foi realizado pela empresa AcquaTool, sendo “[...] consolidada pela equipe técnica da SEMURB a metodologia detalhada a ser utilizada na elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos” (NATAL, 2008, p. 8).

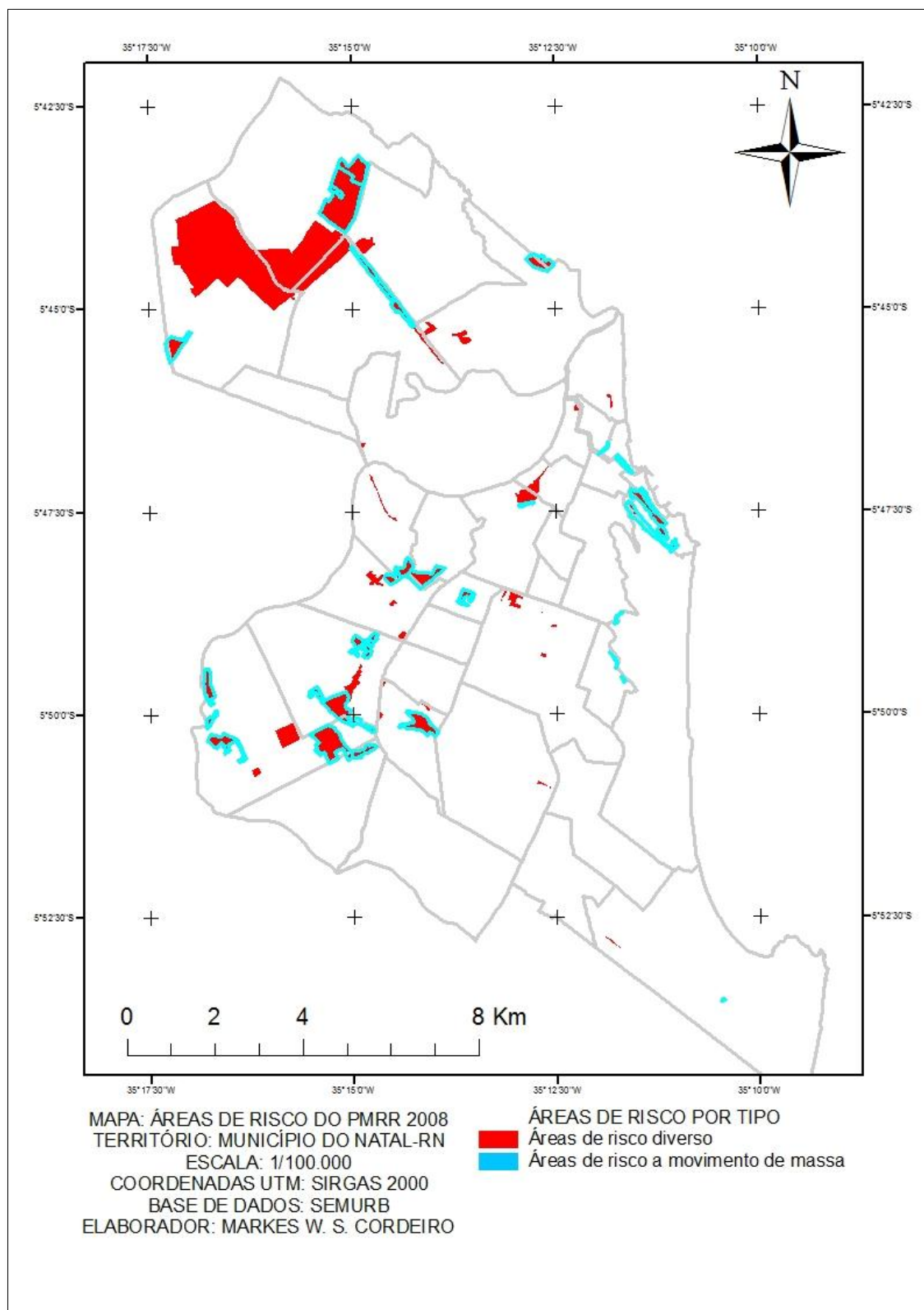
Para apresentar sintaticamente o PMRR de 2008 foram estabelecido dois tópicos: aspectos metodológicos e instrumentos de prevenção e intervenção.

2.1.4.1 Aspectos metodológicos

O método adotado no PMRR de 2008 inicia com a identificação dos setores de risco, como se fossem área de risco em potencial, dividindo estes em: setores inundáveis ou alagáveis, setores sujeitos a erosão, setores sujeitos a deslizamento ou instáveis, setores de faixa de domínio e setores de ocupação de Área de Preservação Permanente. Também foram identificados processos destrutivos coadjuvantes, como Deslizamentos de dunas móveis (Des) com Carreamento de lixo (Cli), Erosão (Er) com Queda de Barreira (Qba), Ocupação Irregular (Qir) e Alagamento Pluvial (Ap), Ocupação de Área de Preservação Permanente (App) e Inundação (In) (NATAL, 2011).

A forma adotada para estas identificações não foi explicada no documento. Depois foi realizada uma análise qualitativa do risco por equipes de profissionais, que verificaram condicionantes e indícios de processos instáveis ao comparar com comportamentos conhecidos e a experiência profissional dos analisadores (NATAL, 2011).

Mapa 1 – Áreas de Risco do PMRR de 2008



Fonte: Adaptado de Natal (2008).

O método utilizado pelo PMRR foi realizado por meio da verificação de indícios para atribuir um grau de risco conforme os parâmetros no Quadro 5:

Quadro 5 – Indícios a serem observados na verificação do grau de risco

| GRAU DE RISCO | INDÍCIOS A SEREM VERIFICADOS |
|----------------|---|
| Muito alto (5) | Vestígios de grandes danos materiais produto de ocorrências passadas (marcas de inundação nas paredes externas, muros derrubados por deslizamento de areia ou queda de barreira) e relatos frequentes de danos humanos; risco iminente de queda de barreiras; acúmulo de areia dentro das residências; casas com grandes fissuras, fendas e ou paredes inclinadas; insalubridade severa; [...] |
| Alto (4) | Destelhamento de casas pela ação dos ventos, aliados a precipitações extremas; comunicação de enxurradas frequentes ou abruptas; invasão do mar em maréias excepcionais destruição parcial de habitações mal localizadas ou pouco sólidas; fluxo dos transportes e das comunicações telefônicas prejudicadas pela ocorrência; risco de transmissão de doenças vinculadas com a ocorrência; aumento considerável do nível dos rios [...] |
| Médio (3) | Verificação de expansão/ ocupação desordenada em áreas aedificandi com restrições; pequenos-médios escorregamentos em áreas de encostas agravados por ações antrópicas; inexistência de sistemas adequados de drenagem de águas pluviais em áreas de dunas ou em terrenos inclinados ou presença generalizada de redes clandestinas; disposição de grandes quantidades de lixo nas linhas de drenagem naturais [...] |
| Baixa (2) | Queixas esporádicas de alagamento ou deslizamento de pequeno porte em áreas pouco inclinadas; conturbação do trânsito ou comprometimento dos serviços públicos ante precipitações excepcionais; desmatamento de grandes áreas com presença de solos saturados; alterações |

| | |
|-----------------|--|
| | moderadas na mata ciliar; construção de grandes obras de infraestrutura urbana sem monitoramento ambiental [...] |
| Muito baixa (1) | Queixas muito esporádicas de alagamento; algumas alterações no trânsito ante precipitações excepcionais; desmatamentos moderados em solos permeáveis; presença de atividades (impactantes) esporádicas próximas a áreas vulneráveis; construção de pequenas obras de infraestrutura; processos de urbanização em andamento (monitoramento) [...] |
| Sem risco (0) | Sem indícios ou possibilidade de desenvolvimento de processos destrutivos. Áreas corretamente urbanizadas e concretamente incorporadas à cidade formal. |

Fonte: Adaptado de Natal (2008).

Para mensurar o grau de risco das áreas verificadas foi atribuída uma cálculo que considerava todos os riscos encontrados, conforme a fórmula abaixo:

$$IR = Max \left[\left(\frac{50 * Qba + 50 * Er}{100} \right), \left(\frac{75 * In + 25 * Ap}{100} \right), Des, Oir, App \right] \quad (1)$$

O PMRR cita “[...] que a variável Cli não entrou na fórmula do IR, pois não atuou como fator crítico em qualquer dos assentamentos analisados” (NATAL, 2008, p. 17).

O mapeamento das áreas de risco identificadas e avaliadas foi feito em etapas: cartografia básica e temática do município, identificação das áreas de risco, caracterização dos setores de risco com processos coadjuvantes, mapeamento das informações coletadas em campo, identificação de soluções estrutural e estimativa de moradias ameaçadas (NATAL, 2008).

A identificação e a demarcação das áreas de risco se deram a partir de reconhecimento de campo e análise das imagens, incluindo também as fichas técnicas, “[...] obtidos a partir das análises dos condicionantes ilustrados nos mapas de geologia, declividade, elevação e recursos hídricos, dentre outras informações, como área, estimativa de residências e habitantes, etc.” (NATAL, 2008, p. 84)

Os movimentos de massa foram classificados em função dos seguintes fatores: velocidade do movimento, da viscosidade do fluxo, do tipo de material transportado, geometria da erosão e depósito formado. Sendo estes divididos em tipos: rastejo; escorregamentos; deslocamentos, quedas e rolamentos; e corridas. (NATAL, 2008)

2.1.4.2 Instrumentos de prevenção e intervenção

As intervenções foram separadas entre estruturais e não-estruturais. As estruturais foram demonstradas em 12 tipos: serviços de limpeza e recuperação, obras de micro drenagem e proteção superficial, retaludamento, desmonte de blocos, lajes e estruturas obsoletas, obras de drenagem de subsuperfície, estruturas de contenção de pequeno porte, estruturas de contenção de médio e grande porte, obras lineares de proteção de margens, revegetação e proteção de matas ciliares e mangues, obras de contenção de dunas, remoção de moradias e reassentamento de famílias removidas. As intervenções não-estruturais foram divididas em 5: mobilização social, desenvolvimento institucional e transferência de tecnologia para uso e ocupação do solo urbano, discussão sobre remoção de moradias, plano e projetos de recuperação de áreas degradadas e segurança e ações contínuas de fiscalização (NATAL, 2008).

O PMRR também descreveu propostas de intervenções, assim como seus custos, para cada área de risco identificada, como limpeza e recuperação de áreas, instalação de contenções físicas, programas sociais de instrução de segurança, etc.

2.1.5 Desastre pela erosão do solo

Conceitualmente, escorregamentos e deslizamentos de terra são definidos como tipos de movimento de massa. Este tipo de fenômeno faz parte de processos naturais que ocorrem em superfícies de vertentes e encostas, onde provocam o movimento do solo, rocha e/ou vegetação sob a ação direta da gravidade (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). Estes movimentos de massa podem ser considerados como processos erosivos que atuam na modelagem do relevo (SANTOS, 2007).

Dentro deste contexto, cada terreno pode apresentar uma suscetibilidade diferente para ocorrência de desastres naturais por movimento de massa, dependendo da fragilidade do solo ao processo de erosão.

Em Natal é possível identificar diferentes tipos de fragilidade do solo, podendo ocorrer processos erosivos em superfícies com pouca cobertura vegetal, desencadeando movimentos de massa, seja pela chuva ou pela ação da gravidade. O desmatamento das dunas pode facilitar o transporte de sedimentos pela ação das águas pluviais e/ou pelo vento, enquanto o escoamento superficial concentrado provoca processos erosivos intensos no solo exposto (RAMALHO, 2010).

Estes processos erosivos, como movimento de massa, também podem provocar queda de barreiras instaladas para proteger áreas frágeis a erosão (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Na cidade do Natal algumas áreas que tiveram obras de contenção nas encostas ainda apresentam risco de queda de barreira, pois quando estas intervenções não são dimensionadas corretamente, o movimento de massa pode derrubar a barreira física que foi construída para segura a encosta.

Para este trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais foi escolhido o termo Movimento de Massa, pois abrange os vários tipos de fenômenos naturais decorrentes de processos erosivos, como deslizamento de encostas e queda de barreira.

2.2. TEORIA DA ECODINÂMICA

A ecodinâmica se baseia na ideia de que “[...] o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico para estudar os problemas do meio ambiente”. (TRICART, 1977, p. 35). Dentro dessa teoria todos os processos ambientais estão conectados por meio de um tipo de dinâmica natural. Esta teoria explica que as ações humanas que interferem no meio ambiente criam uma corrente de efeitos, nos diversos elementos do meio ambiente, que causa desequilíbrios nos recursos ecológicos. E estes recursos são os elementos essenciais para a vida animal e, conseqüentemente, para a vida humana (TRICART, 1977).

Logo, ao conhecer a dinâmica que sustenta os ecossistemas é possível avaliar as conseqüências das interações humanas, utilizando os conhecimentos combinados da geografia física e da ecologia. “A adoção do conceito de sistema

pela ecologia, com a elaboração da noção de ecossistema, permitiu a integração de conhecimentos [...]” (TRICART, 1977, p. 19).

2.2.1 Níveis ecodinâmicos

A ecodinâmica elenca 4 níveis importantes para avaliar os ecossistemas: atmosfera, vegetação, solo e litosfera. O nível atmosfera representa fenômenos físicos como temperatura, umidade e radiação solar, condições estas que influenciam na circulação dos ventos e fotossíntese das plantas, por exemplo. Vinculado a este fator existe a vegetação que pode apresentar a função de interceptar água das chuvas, podendo ainda reduzir a energia dos ventos e escoamento de águas superficiais por meio de rugosidade. A cobertura vegetal intervém diretamente na capacidade do nível solo, pois intercepta a água da chuva e amortece o impacto das gotas. Logo, a erosão pluvial pode ser retardada em um solo com cobertura vegetal. O nível litosfera constitui os fluxos de energia na superfície, como a pedogênese (transformação de rochas e sedimentos por efeitos biológicos), meteorização das rochas e do solo (transformação de rochas e sedimentos por efeitos físicos, químicos e bioquímicos) e processos morfogênicos (movimentos de massa). Tais níveis estão diretamente relacionados dentro da teoria da ecodinâmica, pois um movimento de massa ocorrido em um solo erosivo pode ter se originado na falta de uma cobertura vegetal para reduzir os efeitos das águas da chuva (TRICART, 1977).

Ainda conforme Tricart (1977, p. 29) “o componente mais importante da dinâmica da superfície terrestre é o morfogênico”. Logo, a ecodinâmica mostra que para estudar desastres naturais provenientes de movimento de massa é essencial entender e considerar todos os fatores envolvidos nesses processos morfogênicos. Os outros processos (pedogênese e meteorização) são significativos também, mas, no contexto do presente trabalho, minimizar a instabilidade proveniente de processos morfogênicos deve ser um dos objetivos da administração e gestão ambiental da cidade (TRICART, 1977).

2.2.2 Classificação dos meios

A teoria da ecodinâmica divide o meio ambiente em 3 tipos: meios estáveis, meios intergrades e meios instáveis.

Os meios estáveis são modelados lentamente, evoluindo de forma imperceptível, sendo as características mais marcantes a presença de cobertura vegetal fechada, dissecação moderada e ausência de morfodinâmicas catastróficas. Meios intergrades representam a transição entre os meios estáveis e os meios instáveis, tendo marcante presença de morfogênese e pedogênese. No caso dos meios instáveis, os processos morfogênicos são predominantes e determinam o sistema natural, podendo apresentar fenômenos catastróficos como queda de rochas e deslizamento de encostas (TRICART, 1977).

Os meios ecodinâmicos instáveis sofreram intervenções antrópicas que modificaram intensamente o ambiente através do desmatamento e diversas atividades humanas, enquanto os estáveis ainda mantêm um equilíbrio ecodinâmico por apresentar poucas intervenções humanas (ROSS, 1992).

Destaca-se que a degradação ambiental por atividades humanas agrava ainda mais as limitações impostas à vegetação por meio de severos fatores climáticos nos meios instáveis (TRICART, 1977).

Dentro deste contexto, pode-se entender que dependendo das ações antrópicas um meio intergrade pode passar a ser considerado um meio instável, por exemplo, ao retirar a cobertura vegetal de uma encosta, como também pode regredir nesta classificação ao se repor tal vegetação.

O presente trabalho usou da ecodinâmica para nortear os critérios teóricos. Logo, com base nessa classificação do meio ambiente, já é possível entender que algumas áreas podem apresentar mais riscos de desastres naturais (meios instáveis) do que outras (meios estáveis e meios intergrades).

2.3 FRAGILIDADE NATURAL

Os ambientes naturais apresentam um equilíbrio dinâmico até que sofram alguma interferência de atividades naturais e/ou antrópicas. Tais interferências podem intensificar processos naturais que tendem a ocorrer em um ritmo mais lento na natureza (ROSS, 1992).

Quando este equilíbrio natural é prejudicado, o ambiente fica fragilizado, pois “as progressivas alterações até então inseridas pelas sociedades humanas [...] afetam cada vez mais a funcionalidade do sistema e com frequência induzem a graves processos degenerativos [...]” (ROSS, 1992, p. 65).

Estas fragilidades podem ser identificadas conforme sejam as alterações negativas provocadas pelas ações humanas e/ou eventos naturais. Por exemplo, ao retirar-se a camada vegetal de um solo podem-se acelerar os processos erosivos que deveriam ocorrer em um ritmo bem mais lento naturalmente, dessa forma, criando uma fragilidade no ambiente. Estas fragilidades ambientais podem colaborar com desastres naturais, como movimento de massa em encostas ocupadas por residências.

A fragilidade natural deve ser avaliada e considerada no planejamento urbano, baseando-se na teoria da ecodinâmica, pois estes territórios devem ser analisados sob o conceito de sistema para identificar quais seriam suas dinâmicas naturais. (ROSS, 1992).

Esta fragilidade natural pode ser obtida a partir de cruzamentos de dados sobre relevo, tipo de solo e outros fatores físicos do terreno (GOMES, 2013).

Ainda segundo Ross (1992, p. 64) “os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções das ações humanas”.

Dentro dessa lógica, é de suma importância conhecer as dinâmicas naturais de uma área antes de se determinar se ela pode ou não ser ocupada. Estas dinâmicas naturais podem ser entendidas também como os processos morfogênicos (movimentos de massa) que estariam diretamente ligados à existência ou não de cobertura vegetal e, conseqüentemente, à fragilidade do solo a erosão.

Um mapa de fragilidade natural pode ser um instrumento fundamental no planejamento urbano, visando identificar áreas que necessitem de uma intervenção para se prevenir ocorrentes problemas ambientais (FILHO; CARMO; NOGUEIRA, 1998). Neste contexto, o mapa de fragilidade natural difere de um mapa de risco, pois apresenta apenas as dinâmicas naturais do ambiente, mesmo que interferidas pelas atividades humanas. Enquanto um mapa de risco considera estas áreas fragilizadas e o prejuízo que poderia ser causado à sociedade por um desastre natural.

2.3.1 Erodibilidade do solo

Para o presente estudo foi avaliada a fragilidade natural dos solos aos processos erosivos, pois estão diretamente relacionados aos desastres naturais por movimentos de massa.

Em relação à citada fragilidade, a erosão pode ser definida como um processo de desagregação deste solo, transporte e deposição de materiais pela ação da água dos rios, da chuva, dos ventos, das ondas e das correntes marítimas, sendo o deslizamento proveniente de processos erosivos marcados pela ação da gravidade (SANTOS, 2007).

Neste contexto, a água das chuvas ao escoar e se infiltrar no solo pode causar processos erosivos pela remoção de partículas e escavação da superfície do terreno (RAMALHO, 2010).

Logo, para se entender a possibilidade de ocorrência de um desastre natural por movimento de massa é essencial estabelecer o quão o solo é frágil aos processos erosivos, haja vista que uma área marcada pela erosão pode gerar desastres naturais originados deste tipo de processo morfogênico.

A ecodinâmica estabelece apenas 3 classes de ambiente (estável, intergrade e instável), mas para este trabalho serão usadas 5 classes de fragilidade a erosão, considerando o geologia, escoamento, vegetação e declividade, sendo este último um fator físico determinante, enquanto os outros atuarão com menor peso (ROSS, 1992).

2.4 RECURSOS NATURAIS

Considerando que a aplicação de uma política ambiental pode prevenir o aumento da fragilidade natural de uma área, a pressão sobre os recursos naturais, principalmente sob o solo, também pode ser reduzida. (JACOBI, 2006).

O conceito de recurso natural pode ser entendido como qualquer elemento natural (vegetação, solo, água, etc.) que esteja sendo usado pela sociedade humana (VENTURI, 2006).

Este trabalho teve o recurso natural solo como alvo de estudo, analisando suas fragilidades e tentando identificar sua dinâmica natural, considerando os fatores ambientais que podem agravar o risco a desastres naturais.

2.4.1 Sustentabilidade urbana

A sustentabilidade urbana pode ser entendida como “[...] a possibilidade de garantir mudanças sociopolíticas que não comprometam os sistemas ecológicos e sociais nos quais se sustentam as comunidades” (JACOBI, 2006, p. 115).

Logo, uma insustentabilidade urbana seria a incapacidade da gestão local em acompanhar o crescimento das demandas sociais (JACOBI, 2006). Neste caso, o crescimento desordenado pode ser reflexo de uma carência de áreas para atender a demanda de moradia das comunidades mais precárias socioeconomicamente. Contudo, para atender tal demanda, seria necessário considerar a qualidade ambiental e os impactos futuros que poderiam estar sendo criados, como o deslizamento de terra em encostas ocupadas precariamente.

A confecção de mapas de fragilidade é importante para “[...] uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada” (SPORL; ROSS, 2004, p. 48).

2.5 ÁREAS DE RISCO

Quando se define as fragilidades naturais de um ambiente é possível confeccionar um mapa que demonstre onde estão localizadas as áreas mais críticas, pois a finalidade de um mapeamento é comunicar, objetivamente, um conjunto de informações para auxiliar a gestão urbana local (SANTOS, 2007).

Um mapa de risco de desastres naturais considera um conjunto de fatores, como perigo de ocorrência de um fenômeno natural, potencial de dano que poderia ser causado em uma comunidade, condições socioambientais da população, entre outros (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). Logo, diferente de um mapa de fragilidade que mostra a dinâmica natural do ambiente, seja ela interferida pelas atividades humanas ou não, o mapa de risco envolve o quão prejudicial seria um desastre natural na área em questão, como, por exemplo, áreas mais urbanizadas podem sofrer mais dano estrutural que áreas menos urbanizadas, mesmo ambas possuindo dinâmicas naturais igualmente fragilizadas.

2.5.1 Perigo

O perigo pode ser entendido como a possibilidade de um determinado fenômeno natural acontecer, considerando uma margem temporal (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Santos (2007, p. 67) indica que “nas encostas, os perigos e riscos decorrem, principalmente, do aumento da suscetibilidade à erosão, especialmente associada aos movimentos de massa [...]”.

Este fator depende do conhecimento das dinâmicas naturais da área, como a fragilidade a erosão e histórico de desastres anteriores, para estabelecer a possibilidade de ocorrência.

2.5.2 Vulnerabilidade

Segundo Souza (2011, p. 6) “a vulnerabilidade em si mesma constitui um sistema dinâmico, isto é, surge como consequência da interação de uma série de fatores e características [...] que convergem em uma comunidade particular.” O Quadro 6 apresenta exemplos de conceitos de vulnerabilidade:

Quadro 6 – Definição de vulnerabilidades

| VULNERABILIDADE | DEFINIÇÃO |
|---------------------------|--|
| Vulnerabilidade natural | É intrinsecamente determinada pelos limites ambientais, dentro dos quais é possível a vida, e também, pelas exigências internas de seu próprio organismo. |
| Vulnerabilidade física | Relativa à localização dos assentamentos humanos em zonas de risco e às deficiências de resistência dos elementos expostos para absorver os efeitos da ação do fenômeno que representa a ameaça. |
| Vulnerabilidade econômica | Referente a setores economicamente mais deprimidos da humanidade, que são, por essa razão, os mais vulneráveis frente às ameaças naturais. |
| Vulnerabilidade social | Respectivo ao baixo grau de organização e coesão interna de comunidades sob risco de desastre, que |

| | |
|-------------------------------|---|
| | impedem sua capacidade de prevenir, mitigar ou responder a situações de desastre. |
| Vulnerabilidade política | Relativa à incapacidade da população para formular por si mesma a solução do problema que lhe afeta. |
| Vulnerabilidade ideológica | Relacionada a atitudes passivas, fatalistas e crenças religiosas que limitam a capacidade de atuar dos indivíduos em certas circunstâncias. |
| Vulnerabilidade cultural | Concernente à forma como uma comunidade reage ante um desastre, que será distinta em um grupo humano regido por padrões machistas e verticais de poder, daquela em um grupo, no qual predominam os valores de cooperação e solidariedade. |
| Vulnerabilidade educativa | Se expressa em uma educação deficiente ou que não tem uma boa cobertura em uma comunidade propensa a desastre ou a ausência de conhecimento sobre as causas, os efeitos e as razões pelas quais se apresentam os desastres. |
| Vulnerabilidade técnica | Relativa às técnicas inadequadas de construção de edifícios e infraestrutura básica utilizadas em zonas de risco. |
| Vulnerabilidade ambiental | Referente à degradação ou à destruição dos recursos naturais. |
| Vulnerabilidade institucional | Se reflete na obsolescência e rigidez das instituições, onde a burocracia e a decisão política, entre outros, impedem respostas adequadas e ágeis |

Fonte: Souza (2011) apud Wilches-Chaux (1993).

No contexto do risco a desastres naturais, a vulnerabilidade representa o conjunto de condições físicas (infraestrutura), sociais (acesso à educação, saúde, segurança, etc.) e ambientais (qualidade dos recursos naturais) de uma comunidade em área de risco (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

2.5.3 Risco

O risco a desastres naturais de uma região é calculado com base no perigo, vulnerabilidade e dano. O dano seria o potencial de perdas, materiais e humanas, na ocorrência de um desastre natural, sendo este uma estimativa de uma quantidade de vidas perdidas e o prejuízo financeiro quanto aos bens e propriedades danificadas (SANTOS, 2007).

Outro fator usado no cálculo de risco é a capacidade de resposta do poder público local, assim como a possibilidade de recuperação da área. (SANTOS, 2007). Esta capacidade de resposta representaria o potencial de intervenções, preventivas e emergenciais, da gestão local.

Percebe-se que os diferentes fatores para um mapa de risco estão fundados em indicadores, sendo necessária a mensuração destes para ser possível a obtenção de um grau de risco a partir de uma formula que resultará em um índice.

2.6 GEOPROCESSAMENTO

A construção de um mapa de risco depende da identificação e análise de fatores complexos, como geologia e uso do solo. Para tanto, estes dados devem ser manuseados por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), pois é essencial a análise dos atributos geográficos, como a localização exata dos dados em questão.

Este processamento de informações geográficas é realizado por meio de um *software* de SIG. Tal programa pode executar variados processos de tratamento de dados obtidos por meio do sensoriamento remoto. Os arquivos usados no geoprocessamento podem ser em formato matricial ou vetorial. Os arquivos vetorizados são formados por linhas, pontos e polígonos, enquanto os arquivos matriciais ou *rasters* são formados por matrizes de dados chamadas de *pixels* (FITZ, 2008).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017, p. 17) explica que a “representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno.

2.6.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto consiste em utilizar sensores, como satélites espaciais, para captar e registrar imagens a partir da energia refletida (reflectância) ou absorvida pelas diferentes superfícies. (FITZ, 2008).

Com uso do sensoriamento remoto é possível trabalhar imagens a partir da radiação refletida pelas diferentes superfícies (radiância) dentro da faixa do infravermelho, invisível ao olho humano. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Processamento de Imagens (DPI), cita que:

Características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (resolução espectral), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial), o nível de quantização registrado pelo sistema sensor (resolução radiométrica) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (resolução temporal) (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017, p. 11).

Como uma imagem matricial obtida por sensoriamento remoto é composta por *pixels*, a precisão do resultado depende da resolução da imagem trabalhada. Tais *pixels* possuem informações espectrais, possibilitando a classificação dos dados conforme o objetivo alvo (FITZ, 2008).

A identificação de imagens no sensoriamento remoto também pode ser feita pela combinação das cores primárias: vermelho, verde e azul. Esta escala é conhecida como RGB (*red, green e blue*) e fornece informações específicas conforme se combina as bandas de cores na imagem. (FITZ, 2008).

Portanto, tal técnica permite analisar dados geográficos à distância, podendo embasar resultados, inclusive possibilitando manusear matematicamente as informações contidas nas imagens por sensoriamento remoto. Contudo, é essencial que estas fotos registradas remotamente sejam precisas para produzir resultados eficientes.

2.6.2 Fotointerpretação

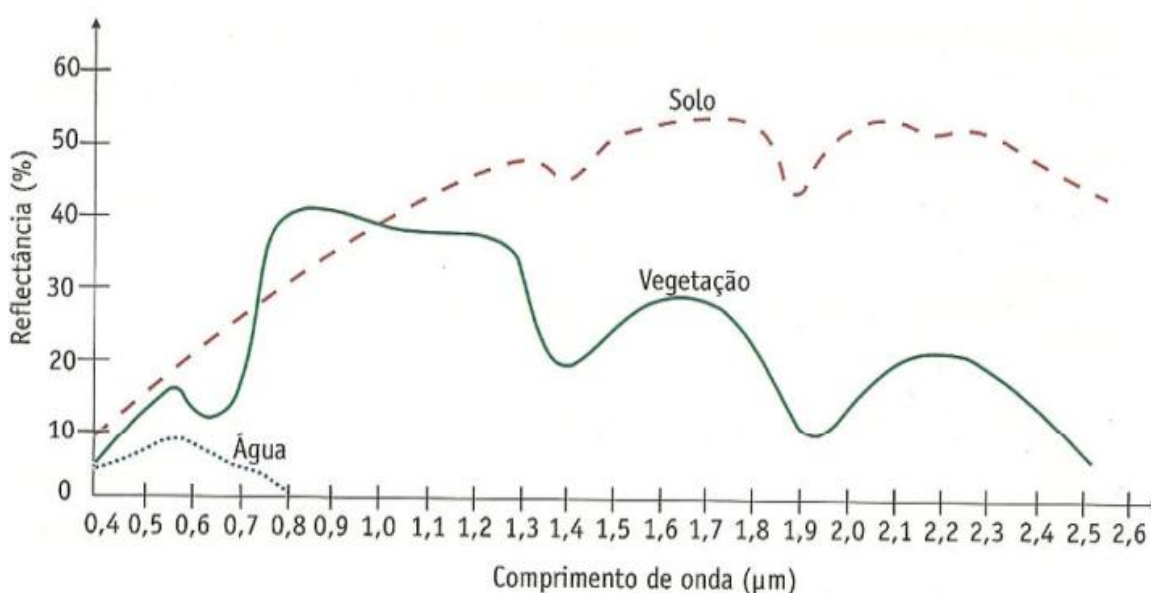
Os dados coletados podem ser analisados por fotointerpretação, conceito este que pode ser definido como “[...] a técnica que realiza o estudo de imagens

fotográficas, buscando identificar, interpretar e obter informações sobre os fenômenos e objetos nelas contidos” (FITZ, 2008, p. 118).

Por meio da fotointerpretação é possível analisar dados referentes às fragilidades ambientais e delimitação física das áreas de estudo, podendo identificar relevo, vegetação, corpos d’água, etc.

Esta técnica se baseia no manuseio das bandas do espectro eletromagnético para identificação, pois cada superfície possui uma reflectância própria, considerando as faixas de cor visível (azul, verde e vermelha) e invisível (infravermelho). Com a combinação destas bandas é possível classificar as superfícies alvos da identificação. (FITZ, 2008).

Gráfico 1 – Identificação de diferentes superfícies e objetos pela reflectância



Fonte: Fitz (2008).

2.6.3 Álgebra de mapas

Com a fotointerpretação das imagens a identificação das diferentes superfícies é transformada em dados numéricos por meio da reflectância. Estes diferentes dados podem ser sobrepostos para chegar a um único valor. Tal processo consiste na sobreposição aritmética, ou álgebra de mapas, que visa utilizar operações matemáticas como soma e multiplicação em diferentes imagens para se produzir um mapa integrado (FITZ, 2008).

Usando Álgebra de Mapas é possível atribuir valores de fragilidade natural das unidades territoriais, com base em princípios como a ecodinâmica, através de um cálculo aritmético simples envolvendo mapas temáticos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017).

Dessa forma, ao usar arquivos matriciais (*raster*) é possível calcular dois ou mais mapas para se obter um mapa integrado, conforme demonstrado na Figura 1:

Figura 1 – Sobreposição aritmética por multiplicação de duas imagens matriciais

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|----------|-----------------|---|---|----|----------|---------------------|----|----|----|
| Imagem A | | | | x | Imagem B | | | | = | Imagem final | | | |
| 2 | 2 | 3 | 4 | | 0 | 2 | 1 | 5 | | 0 | 4 | 3 | 20 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | | 4 | 5 | 7 | 11 | | 8 | 15 | 28 | 55 |
| 0 | 3 | 5 | 5 | x | 2 | 1 | 4 | 2 | = | 0 | 3 | 20 | 10 |
| 1 | 6 | 7 | 8 | | 0 | 1 | 2 | 12 | | 0 | 6 | 14 | 96 |

Fonte: Fitz (2008).

2.7 ÍNDICE

Índice é um valor gerado por um procedimento de cálculo entre diferentes variáveis. Essas variáveis são indicadores que podem ser dados individuais ou um conjunto deles (SICHE et al. 2001).

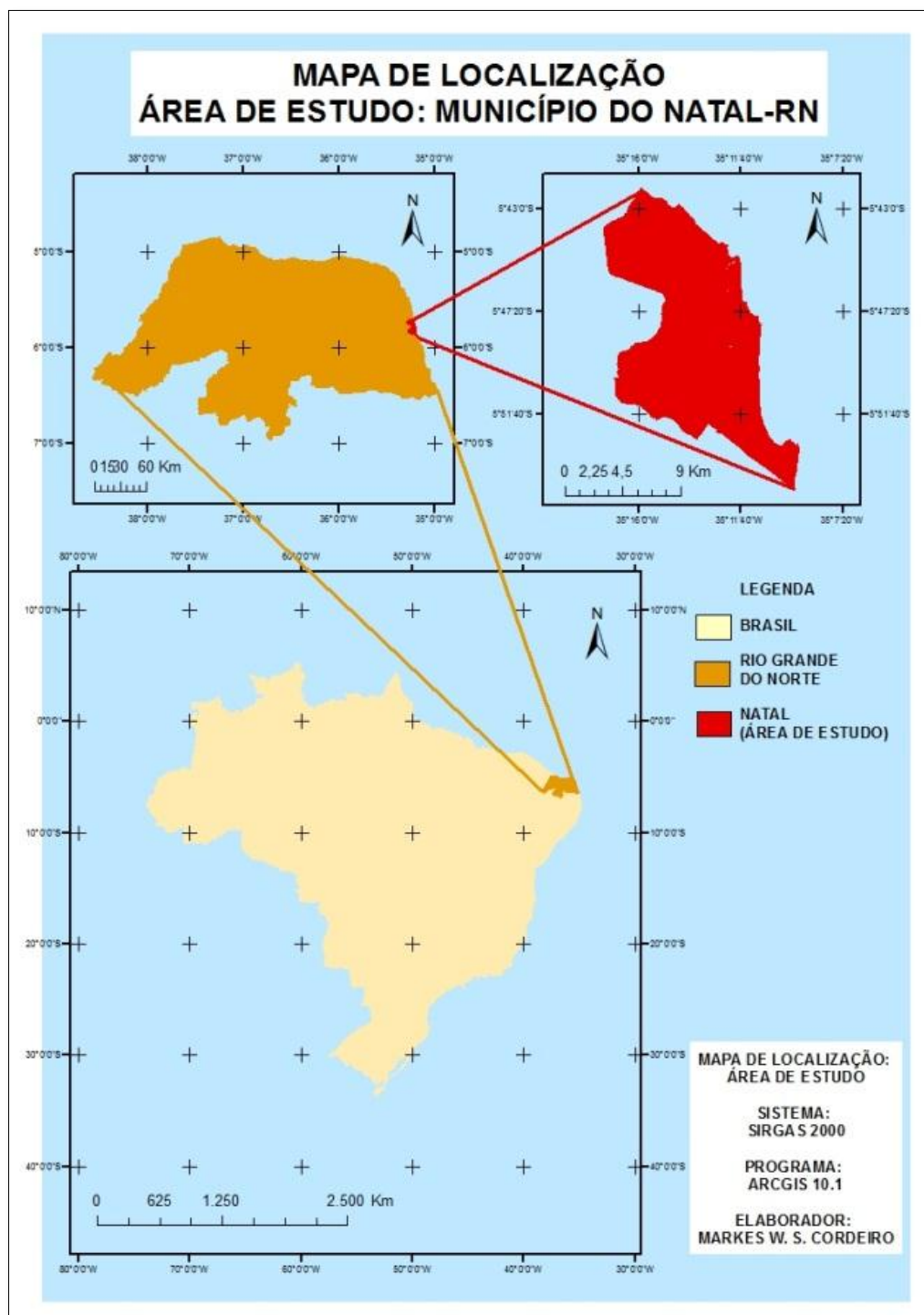
SICHE et al. (2007, p. 139) também cita que “[...] um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado”.

Logo, um índice pode ser usado como um instrumento para tomada de decisões, considerando a precisão dos indicadores que o compõe.

3 METODOLOGIA E RECURSOS UTILIZADOS

A área estudada constitui todo território do município do Natal-RN, incluindo as áreas de domínio do Estado (Parque das Dunas) e da União (praias urbanas).

Mapa 2 – Mapa de Localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2017).

A pesquisa será realizada por meio de uma análise semi-quantitativa, entendida como um método direto em que o mapa final será obtido a partir da combinação de diversos mapas confeccionados por meio de critérios arbitrados e justificados (LISTO, 2011).

Seria inviável elaborar um mapa de risco a desastres naturais de um município em um único trabalho dentro do conceito mais complexo (perigo, capacidade, dano e vulnerabilidade), pois para tanto seria necessário, dentre outros, um levantamento de campo capaz de mensurar a vulnerabilidade social de cada área do município. Portanto, adotou-se a avaliação e mapeamento das áreas de risco físico que, por exemplo, independe de condições socioeconômicas. Dessa forma, foi usada uma metodologia adaptada para mensurar a fragilidade natural do solo frente a tais processos erosivos.

A metodologia se baseia em etapas: definição do método, aquisição de dados, caracterização da área de estudo e confecção de mapas temáticos.

3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO

Sporl e Ross (2004) realizaram a comparação de 3 modelos de análise de fragilidade do solo, dois deles desenvolvidos por Ross (1994) e outro por Crepani (1996). O primeiro método de Ross é baseado na dissecação do relevo, tipo de solo, cobertura vegetal e pluviosidade, dividindo 5 diferentes classes de fragilidade do solo à erosão. Já o segundo método é baseado na declividade, tipo de solo, cobertura vegetal e pluviosidade, também dividido em 5 classes. O método utilizado por Crepani se baseia em geologia, geomorfologia, vegetação, solo e clima, dividido em 3 classes de vulnerabilidade do solo a processos erosivos.

Destaca-se que “[...] no modelo de CREPANI [...] todas as variáveis têm o mesmo peso, já no modelo de ROSS o relevo ou a declividade têm uma importância muito maior na definição dos graus de fragilidade.” (SPORL; ROSS, 2004, p. 48).

No caso de Natal, o Plano Municipal de Redução de Riscos também utilizou mapas temáticos para avaliação de erosão.

[...] os critérios de avaliação da erosão envolveram análises de reconhecimento no local e utilização de imagens; a partir dessas análises caracterizou-se o setor de risco pelo tipo de solo, pela cobertura vegetal (geralmente ausente, retirada para a construção das moradias), pelo perfil geotécnico e pela declividade. (NATAL, 2008, p. 90)

Para este trabalho foi usado o método de análise de fragilidade do solo a processos erosivos, desenvolvida por Ross (1992), especificamente a vertente que usa como base a declividade do terreno. Contudo, os mapas temáticos foram confeccionados direcionados para a aplicação adaptada do método para possibilitar o uso do geoprocessamento nesta análise.

O *software* escolhido para o trabalho foi o ArcGis por ser uma referência na área de geoprocessamento. Logo, os procedimentos utilizados poderão ser compreendidos por uma grande parcela de profissionais da área.

O parâmetro de declividade foi avaliado criteriosamente conforme o método adotado, haja vista que este é a base da análise. Os demais parâmetros tiveram suas classes obtidas por avaliações adaptadas. A cobertura vegetal foi obtida por meio de uma ferramenta do *software* utilizado para o trabalho. O fator pluviosidade foi representado por um mapa de drenagem natural do escoamento superficial das águas da chuva, pois segundo Othman et al. (2012) a precipitação de chuvas é um evento que desencadeia os processos erosivos, inclusive movimentos de massa, e não um fator de fragilidade do solo em si.

O parâmetro solo foi representado pelo mapa geológico, pois poderá apresentar mais variáveis ao território do que apenas um mapa de tipo de solo. O mapa de uso foi adotado como um fator adicional no método elaborado para representar a relevância das áreas urbanizadas e do solo exposto, pois tais fatores foram usados como base para a abordagem do risco a desastres naturais por erosão e não apenas a erodibilidade natural do solo.

A avaliação da fragilidade na área a um determinado evento natural de movimento de massa foi realizada por um método adaptado da análise empírica de fragilidades elaborada por Ross (1992), sendo medida conforme fatores como declividade, escoamento natural, geologia, uso e ocupação e cobertura vegetal, podendo variar entre cinco magnitudes de fragilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros para avaliação de fragilidade a erosão

| DECLIVIDADE DO TERRENO | TIPO DE SOLO | FRAGILIDADE A EROSÃO |
|------------------------|--|----------------------|
| Até 6% | Latossolo Roxo [...] textura argilosa. | Muito baixa |
| De 6% à 12% | Latossolo Amarelo [...] textura media/argilosa. | Baixa |
| De 12% à 20% | Latossolo Vermelho amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, [...] textura media/argilosa. | Média |
| De 20% à 30% | [...] textura media/arenosa, Cambissolos. | Forte |
| Acima de 30% | [...] Litólicos e Areias Quartzosas. | Muito forte |

Fonte: Adaptado de Ross (1992).

Essa pesquisa dos fatores geomorfológicos pode fornecer dados importantes quanto aos processos físicos que podem originar desastres naturais (AYALA, 2002).

Para melhor classificar a área estudada, foi adotado o método de fotointerpretação de imagens obtidas por sensoriamento remoto. Essa técnica foi usada em imagens de satélite, no sistema orbital conhecido como *Landsat 8*, em diferentes bandas do espectro eletromagnético para identificar drenagem natural, declividade, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal. Este método é possível, pois “as imagens de um alvo, captadas em diferentes faixas do espectro eletromagnético, apresentam reflectâncias específicas, de acordo com o material encontrado” (FITZ, 2008, p. 123).

Existem diversos sistemas orbitais, inclusive com resolução espacial melhor, como o caso do *Sentinel* com resolução de 10m, mas o *Landsat 8* foi escolhido por disponibilizar imagens com pouca interferência atmosférica (presença de nuvens), possibilitando trabalhar melhor os dados.

Com essa classificação é possível separar os diferentes fatores que podem determinar uma fragilidade natural à erosão da área, assim como subsidiar a forma de mensuração desta fragilidade. Todos os mapas temáticos foram analisados com base na coordenada *SIRGAS 2000 UTM Zone 25S*. O sistema de *Universal Transversal de Mercator* (UTM) adota uma projeção cartográfica que trabalha com medidas equidistantes em um sistema métrico, dando precisão no manuseio dos dados (FITZ, 2008).

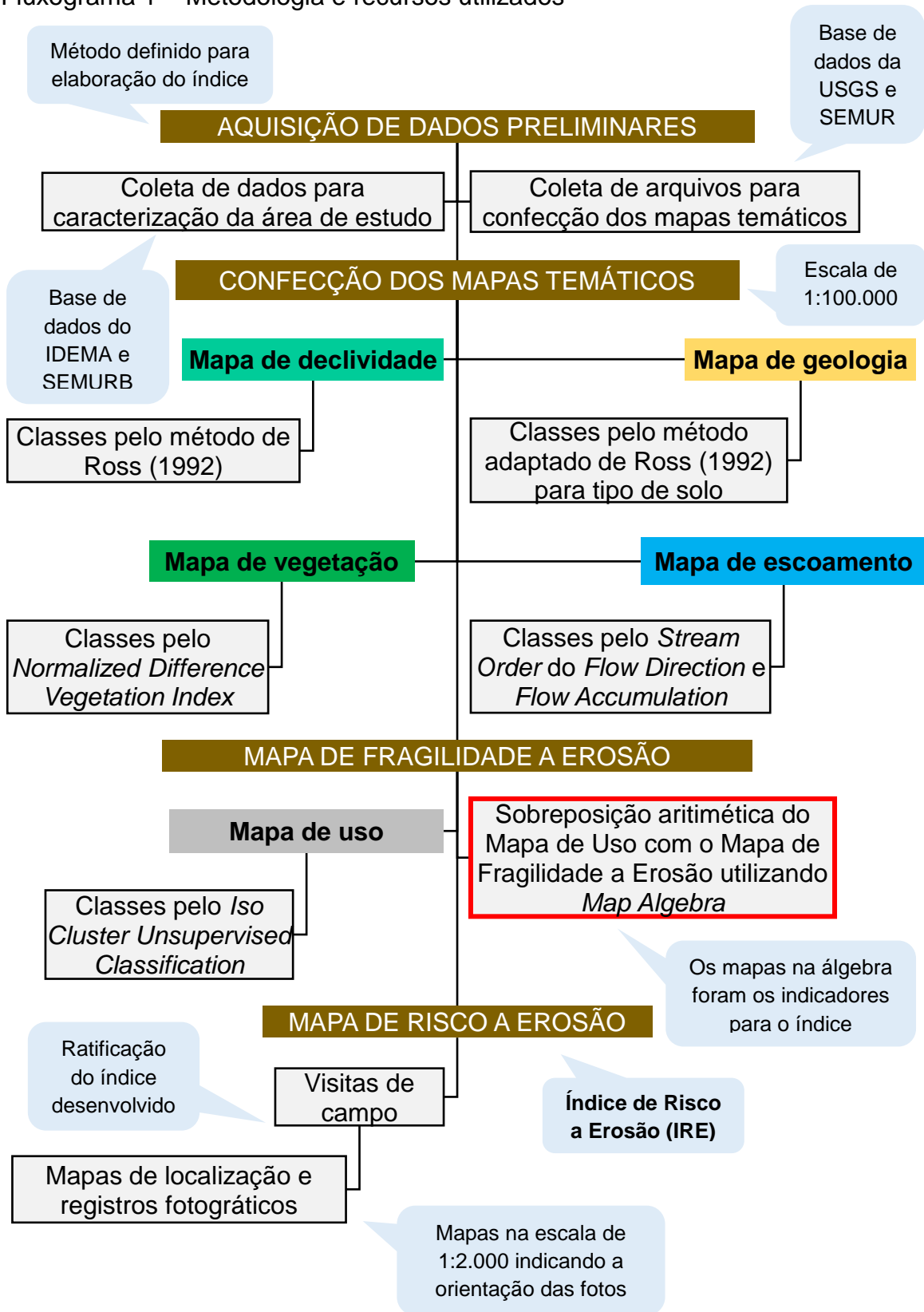
A metodologia adotada visa mensurar cada resultado obtido no Arcgis para embasar a criação do Índice de Risco a Erosão (IRE) em cada parcela do território.

3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

Inicialmente os dados foram coletados em sites virtuais das Secretarias municipais da Prefeitura do Natal, como a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo (SEMURB). Posteriormente, esses dados preliminares da SEMURB foram obtidos por meio de ofício enviado pela PPGUSRN (Anexo C), solicitando dados que não foram acessíveis na pesquisa virtual.

Paralelamente, foi realizada uma pesquisa de imagens no *United States Geological Survey* (USGS), site do departamento de levantamento geológico dos Estados Unidos, para viabilizar a confecção dos mapas temáticos. No USGS foram obtidos dois tipos de arquivos, um *raster* de elevação digital por SRTM, datado de 23 de setembro de 2014, e um *raster* de composição de bandas de cor pelo LandSat 8, datado de 18 de abril de 2017, ambos com precisão de 30 metros.

Fluxograma 1 – Metodologia e recursos utilizados



Fonte: Autoria própria (2017).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os aspectos geográficos e ambientais para a caracterização da área de estudo foram obtidos do acervo virtual do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA) e do anuário de Natal 2016, sendo estes dados datados de 2013 e 2016, respectivamente. O Município do Natal é considerado 100% urbanizado (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

3.3.1 Clima

O Clima de Natal é considerado tropical chuvoso quente com verão seco (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

A temperatura do ar possui médias máximas e mínimas de 27,6°C e 25,0°C, sendo uma média anual de evaporação de 180 mm/mês e a umidade relativa do ar varia em torno dos 77,25%. Os maiores índices pluviométricos acontecem no período chuvoso entre os meses de março e setembro (NATAL, 2016).

3.3.2 Vegetação

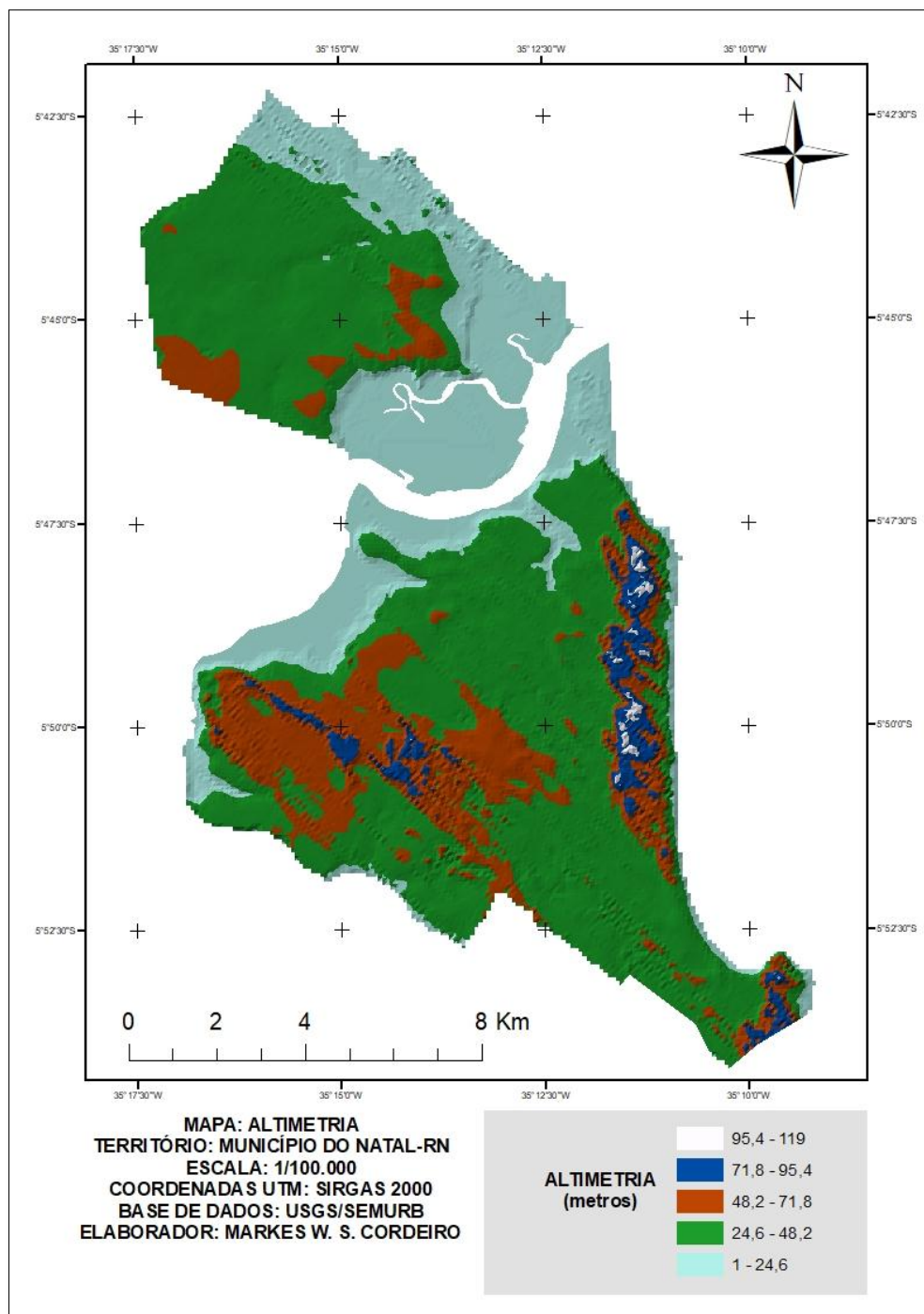
Na porção costeira (Tabuleiro Costeiro) encontra-se a vegetação chamada de Tabuleiro Litorâneo, geralmente marcada pela intervenção humana. Ainda no ambiente costeiro, existe a vegetação de mangue, onde é comum a presença de animais e plantas adaptados a um solo salinizado por periódicas inundações da maré. A vegetação de Floresta Sub-perenifólia é constituída por árvores densas de folhas largas e troncos delgados em um solo recoberto por húmus (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

3.3.3 Relevo e solo

Predominância de Planícies Costeira que são formadas por praias com altitude inferior a 100 metros, estando localizadas entre o Tabuleiro Costeiro e o

mar. O solo, chamado de Areias Quartzosas Distróficas, possui baixa fertilidade natural, textura arenosa e muito drenada com relevo plano e profundo (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013). Por meio de arquivos obtidos no site da USGS foi possível confeccionar um mapa de altimetria para visualizar o relevo do território estudado.

Mapa 3 – Altimetria



Fonte: Autoria própria (2017).

3.3.4 Geologia e geomorfologia

Natal está nos domínios do Grupo Barreiras do Terciário e sedimentos do quaternário. Sendo também marcada por cordões de dunares antigos (Paleodunas) com areias amareladas, inconsolidadas ou parcialmente consolidadas (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

O município encontra-se na unidade geomorfológica denominada Tabuleiros, que se caracteriza nesta área por uma cobertura arenosa de aproximadamente 2m, com predomínio das cores vermelha e castanha. As bordas dos tabuleiros são geralmente recobertas por dunas de cor creme. Em raros trechos essas bordas expõem materiais pertencentes ao Grupo Barreiras, formando falésias de até 12 m de altura. Em certos locais as dunas transversais apresentam altura superior a 90 metros, alcançando 20 km de largura nos arredores da cidade. (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013, p. 9).

Na porção costeira “a faixa litorânea é composta por Depósitos de Praias, areias finas a grossas, com níveis de cascalho, associadas às praias atuais e dunas móveis; arenitos e conglomerados com cimento carbonático [...]” (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013, p. 9).

3.3.5 Hidrologia e hidrogeologia

O município do Natal possui recursos hídricos de superfície e subterrâneos, como o Aquífero Barreiras e o Aquífero Aluvião.

O Aquífero Barreiras está inserido em rochas e sedimentos Terciários e Quaternários tais como arenitos finos e grosseiros, conglomerados, arenitos argilosos, caulínicos e ferruginosos níveis de cascalhos, lateritas a argilitas variadas de coloração amarela a avermelhada, sendo este confinado, semiconfinado e livre em algumas áreas. Também existe o Aquífero Aluvião que é um aquífero de águas subterrâneas livre e confinado, sendo abrigado por rochas e sedimentos arenosos em rios e riachos. Uma característica marcante é a alta permeabilidade e uma profundidade média em torno de 7 metros (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

Natal possui “[...] 31,19% do seu território inserido na Bacia Hidrográfica do rio Potengi, 15,30% na Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi, 23,43% na Bacia Hidrográfica do rio Doce e 30,08% na Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso.” (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013, p. 10).

3.4 CONFECÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

O *software* de geoprocessamento ArcGis 10.1 foi usado para trabalhar os dados coletados, tanto os obtidos em sítios virtuais como os obtidos por arquivos digitais solicitados aos órgãos públicos, além do programa de visualização de imagens de satélite em alta resolução Google Earth Pro. As imagens foram coletadas preferencialmente no formato *Tagged Image File Format* (TIFF), sendo posteriormente armazenadas em camadas distintas, chamadas de *layers*, para melhor organização dos dados (FITZ, 2008).

Todos os mapas temáticos foram trabalhados na escala de 1:100.000 para poder abordar todo o território do município do Natal.

3.4.1 Declividade

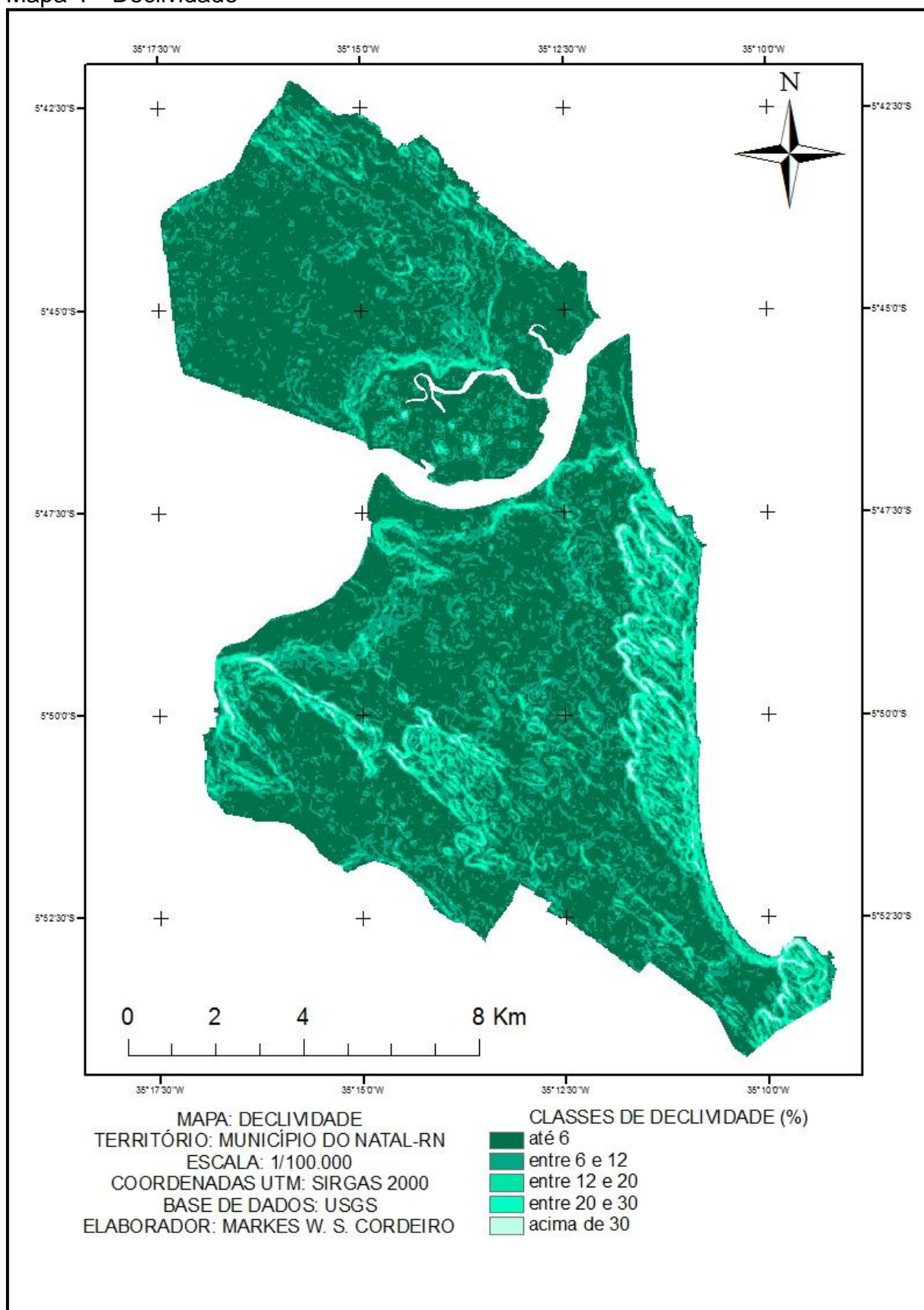
O mapa temático de declividade foi confeccionado por meio do *raster* de elevação digital da USGS. Para tanto, foi utilizada a ferramenta do Arcgis *Slope* e definida as classes pelo percentual de declividade. Esta imagem foi trabalhada mostrando a declividade por classes de percentual, conforme a metodologia adotada de Ross (1992).

Tabela 2 – Grau de fragilidade a erosão pela declividade

| Declividade (%) | Grau de Fragilidade |
|-----------------|---------------------|
| Até 6% | Muito baixa (1) |
| Até 12% | Baixa (2) |
| Até 20% | Média (3) |
| Até 30% | Alta (4) |
| Até 50% | Muito Alta (5) |

Fonte: Ross (1994).

Mapa 4 – Declividade



Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.2 Escoamento

O mapa temático de drenagem natural foi usado como o fator de pluviosidade para a avaliação em questão e foi confeccionado por meio do *raster* de elevação digital da USGS. Para tanto, foi utilizada a ferramenta do Arcgis *Flow Direction*, visando identificar a direção dos fluxos de escoamento superficial das águas da chuva. Depois foi usada outra ferramenta chamada de *Flow Accumulation*, visando identificar as drenagens de maior acumulação do escoamento. Após obter estes resultados de direção e acumulação do escoamento superficial das águas da chuva, foi usada a ferramenta *Conditional* para combinar ambos os resultados (direção de fluxo e acumulação). Com os fatores combinados foi usada a ferramenta *Stream Ord* para separar a drenagem natural por meio de classes, resultando em 8 classes. Com este resultado foi aplicada a ferramenta *Reclassify* e condensadas as 8 classes em 5, enfatizando aquelas de maior ordem.

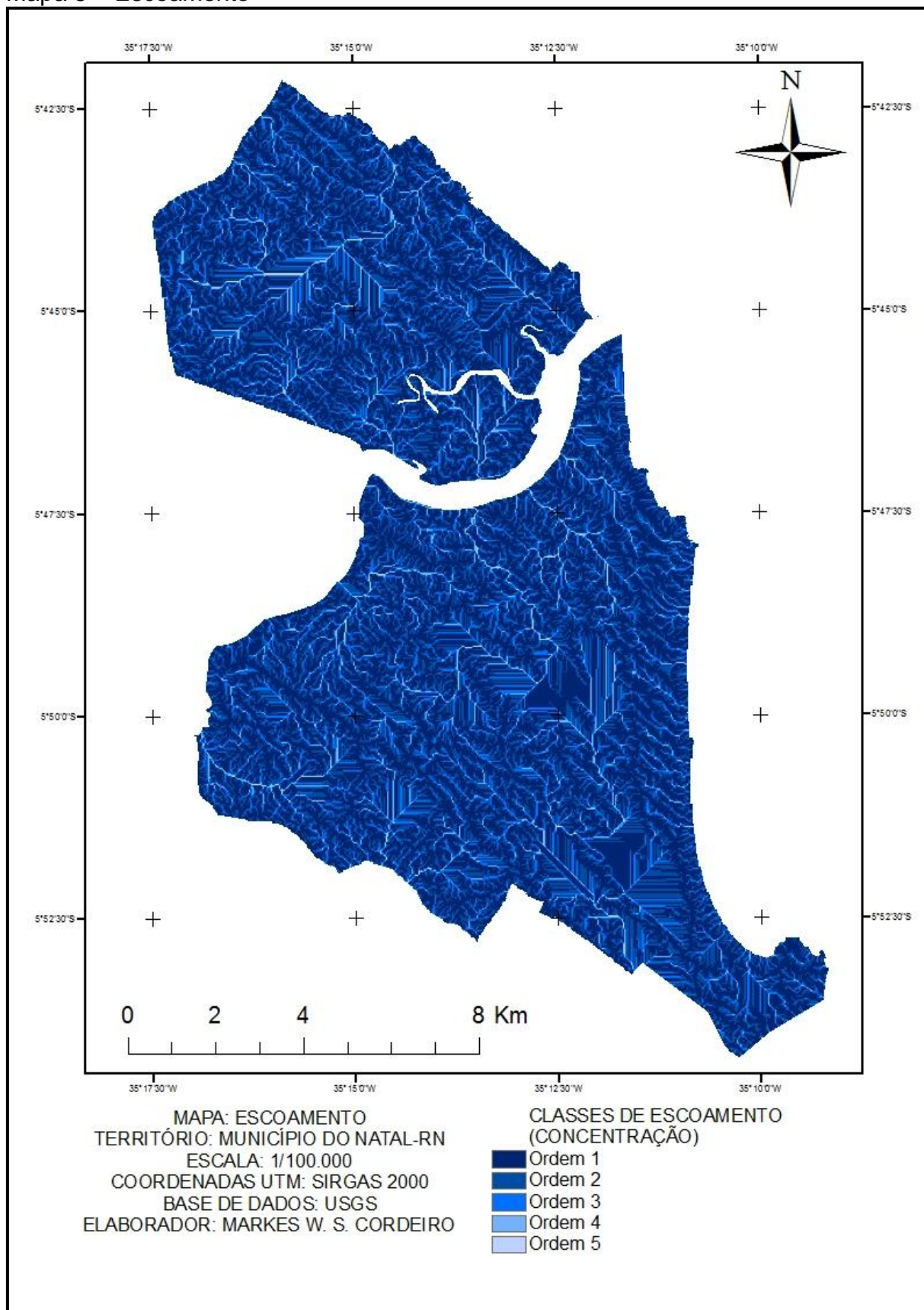
Quadro 7 – Grau de fragilidade a erosão pelo escoamento

| Drenagem pluvial (ordens de concentração) | Grau de Fragilidade |
|--|----------------------------|
| Ordem 1 | Muito baixa (1) |
| Ordem 2 | Baixa (2) |
| Ordem 3 | Média (3) |
| Ordem 4 | Alta (4) |
| Ordem 5 | Muito Alta (5) |

Fonte: Autoria própria (2017).

A classificação das ordens para avaliação do grau foi atribuída pelo potencial de erodibilidade do solo do escoamento superficial das águas da chuva, considerando que quanto maior a concentração de água na drenagem pluvial (maior ordem) maior será sua capacidade de erodir o solo (maior grau).

Mapa 5 – Escoamento



Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.3 Vegetação

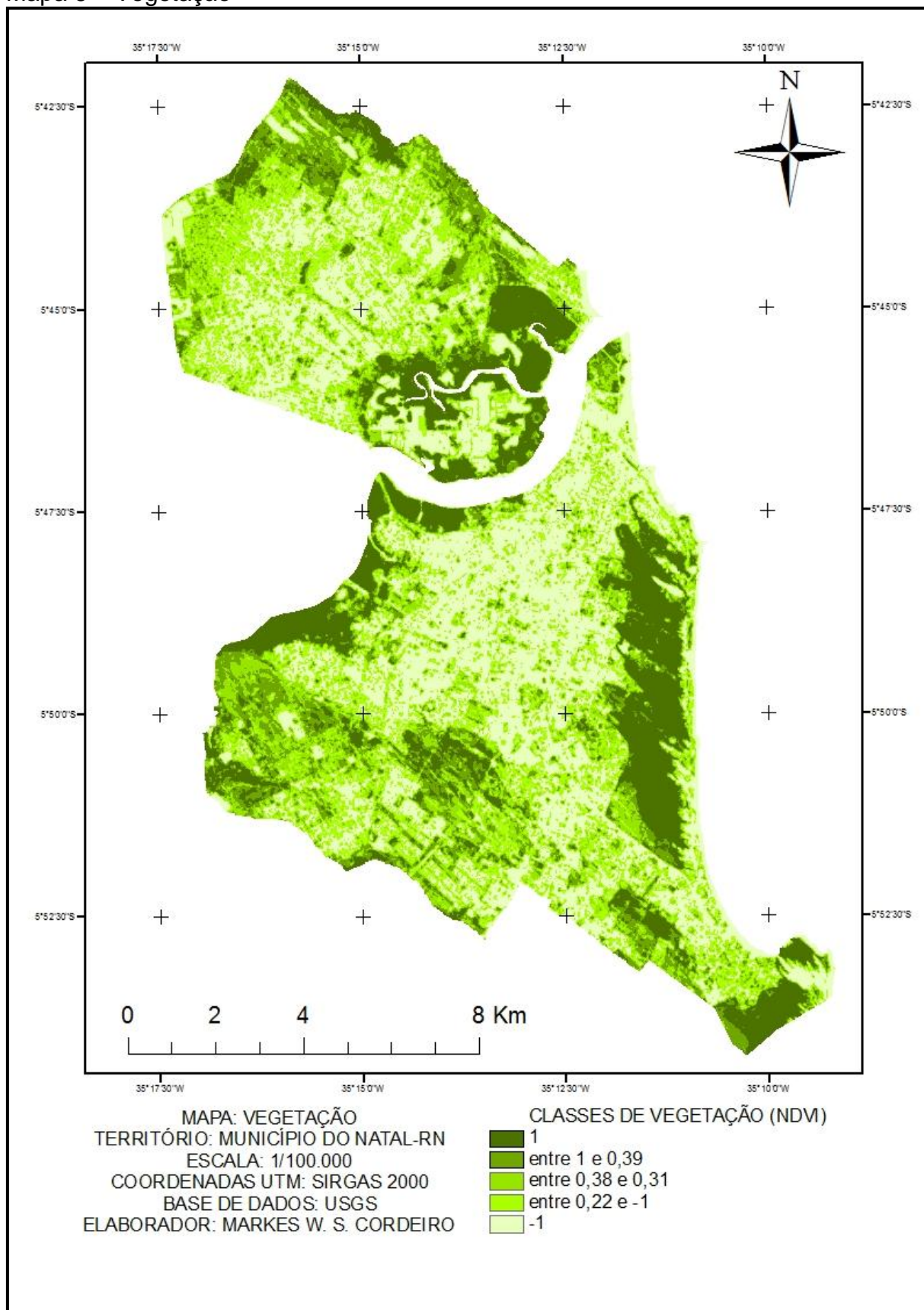
O mapa temático de vegetação foi confeccionado por meio do *raster* de composição de bandas da USGS, especificamente as bandas 4, 5 e 6. Para tanto, foi utilizada a ferramenta no Arcgis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para classificar a cobertura vegetal identificada em classes de densidade vegetal. Esta classificação criou um espectro de cor demonstrado numericamente por valores entre 1 e -1. O valor 1 indica a presença de vegetação e quanto menor o valor apresentar, menor será a ocorrência de cobertura vegetal. A ferramenta *Reclassify* do Arcgis 10.1 foi usada para priorizar as escalas que mais representam vegetação. Logo, estes valores foram usados para representar uma escala de fragilidade, considerando que quanto mais próximo do valor 1, maior será a cobertura vegetal da área.

Tabela 3 – Grau de fragilidade a erosão pela vegetação

| Vegetação (NDVI) | Grau de Fragilidade |
|-------------------------|----------------------------|
| Até 1 | Muito baixa (1) |
| Entre 1 e 0,39 | Baixa (2) |
| Entre 0,39 e 0,31 | Média (3) |
| Entre 0,31 e 0,22 | Alta (4) |
| Até -1 | Muito Alta (5) |

Fonte: Autoria própria (2017).

Mapa 6 – Vegetação



Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.4 Geologia

Cada solo pode apresentar características diferentes que podem aumentar a fragilidade a processos erosivos. Conforme um mapa de reconhecimento de solos da EMBRAPA, datado de 1971, o município do Natal apresenta predominância de solo do tipo Areia Quartzosa e uma parcela de solo de mangue. Para uma maior quantidade de variáveis foi usado um mapa geológico para representar o fator solo, pois as formações geológicas podem apresentar variáveis mais específicas em relação ao solo, por exemplo, na região com presença de dunas o solo será predominantemente de areia, mas poderá ter dinâmicas diferentes se estas dunas forem móveis ou fixas. Para tanto, foi usado um arquivo vetorizado obtido na SEMURB, sendo convertido para o formato matricial (*raster*) e conservados os seus atributos para classificação. O método de Ross (1992) foi adaptado para determinar o grau de fragilidade.

Quadro 8 – Grau de fragilidade a erosão pela geologia

| Geologia (tipo) | Grau de Fragilidade |
|------------------------|----------------------------|
| Sedimentos de Mangue | Muito baixa (1) |
| Formação Barreiras | Baixa (2) |
| Formação Potengi | Média (3) |
| Dunas fixas | Alta (4) |
| Dunas móveis | Muito Alta (5) |

Fonte: Adaptado de Ross (1992).

No método de avaliação de Ross (1992) quanto mais material argiloso presente menor será o seu grau de fragilidade. Enquanto por outro lado, quanto maior a presença de material arenoso maior será seu grau de fragilidade, representado pela textura argilosa (grau 1), passando pela textura média argilosa (grau 2 e 3), pela textura média arenosa (grau 4) até a classe de Areais Quartzosas (grau 5). Logo, estes parâmetros foram considerando para mensurar o grau de fragilidade pelas formações geológicas.

Conforme o PMRR (2008) as “Dunas Fixas são constituídas por sedimentos quartzosos amarelos devido a ação do intemperismo, com grãos do tamanho de

areia média e fina bem selecionados e forma sub-arredondada a sub-angulosa” (NATAL, 2008, p. 63).

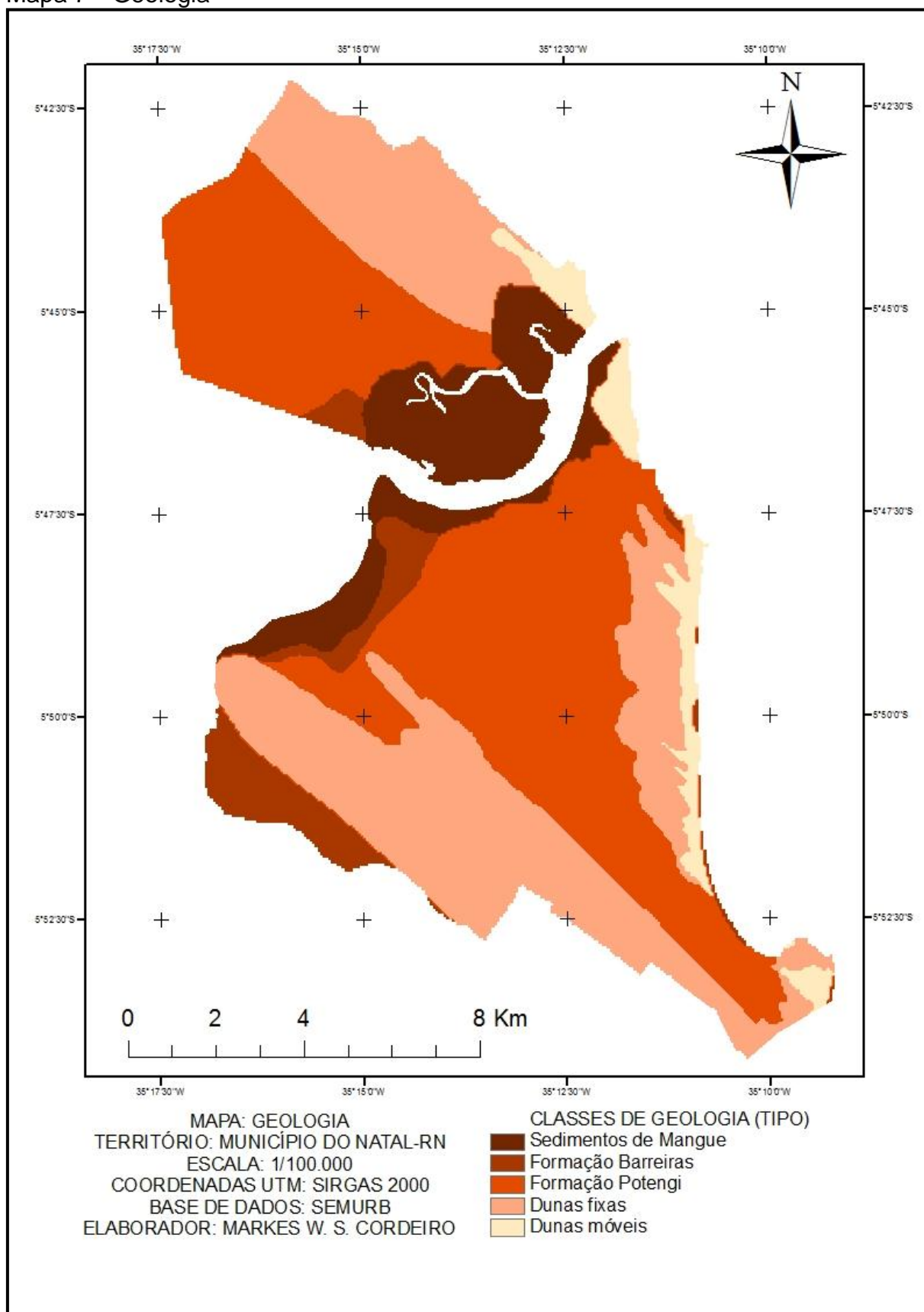
Nesse contexto, as Dunas foram divididas entre móveis (grau 5) e fixas (grau 4), estando as dunas móveis classificadas com um maior grau pela predominância de movimento na formação geológica comparado com as dunas fixas.

A formação Potengi foi classificada como grau médio, logo após as dunas, por apresentar “[...] sedimentos de cor avermelhada predominantemente arenosa” (NATAL, 2008, p. 64).

A formação barreiras, por apresentar “[...] camadas arenosas a conglomeráticas intercaladas com camadas areno-argilosas [...]”, conforme Natal (2008, p. 63), foi classificada como grau baixo, pois a presença de material areno-argiloso fica mais próxima do grau baixo do que a formação Potengi que apresenta predominância de material arenoso.

O sedimento de mangue foi classificado com o menor grau (muito baixo) por apresentar uma litologia variada, podendo variar entre areias quartzosas e argila orgânica em sua composição (NATAL, 2008).

Mapa 7 – Geologia



Fonte: Adaptado da SEMURB (2015).

3.4.5 Uso

O mapa temático de uso do solo foi confeccionado por meio do *raster* de composição de bandas da USGS. Para tanto, foi utilizada uma ferramenta do Arcgis chamada de *Iso Cluster Unsupervised Classification* que consiste em criar *Clusters* da imagem. Os *Clusters* são agrupamento de superfícies identificadas pelo *software* conforme as informações espectrais do *raster* (FITZ, 2008).

Estes *Clusters* foram classificados conforme uma análise de fotointerpretação, sendo usada a ferramenta *Reclassify* para estabelecer 5 classes para o grau de fragilidade, similar ao utilizado nos outros mapas temáticos.

Quadro 9 – Grau de uso por uso do solo

| Uso do solo (urbanização) | Grau de Fragilidade |
|---|----------------------------|
| Muito fraca ou inexistente | Muito baixa (1) |
| Urbanização fraca | Baixa (2) |
| Urbanização moderada | Média (3) |
| Urbanização forte | Alta (4) |
| Urbanização muito forte ou solo exposto | Muito Alta (5) |

Fonte: Autoria própria (2017).

A classe descrita como Urbanização forte ou solo exposto foi atribuída com o grau 5 por apresentar um solo desprotegido ou uma forte urbanização verificada pela fotointerpretação, marcada nas áreas de maior concentração da cidade.

A Urbanização moderada representa uma categoria intermediária entre a Urbanização muito forte e a Urbanização média, marcada tanto nos bairros centrais como em bairros periféricos. Logo, foi atribuída o grau Alto.

O grau 3 (Média) foi atribuída ao *Cluster* que representa uma urbanização média com pavimentação (ruas, avenidas, etc.), assim como alguns pontos de conflito entre a cobertura vegetal, solo exposto e urbanização. A atividade de carcinicultura explorada dentro da área de mangue no Rio Potengi está incluída neste *Cluster*.

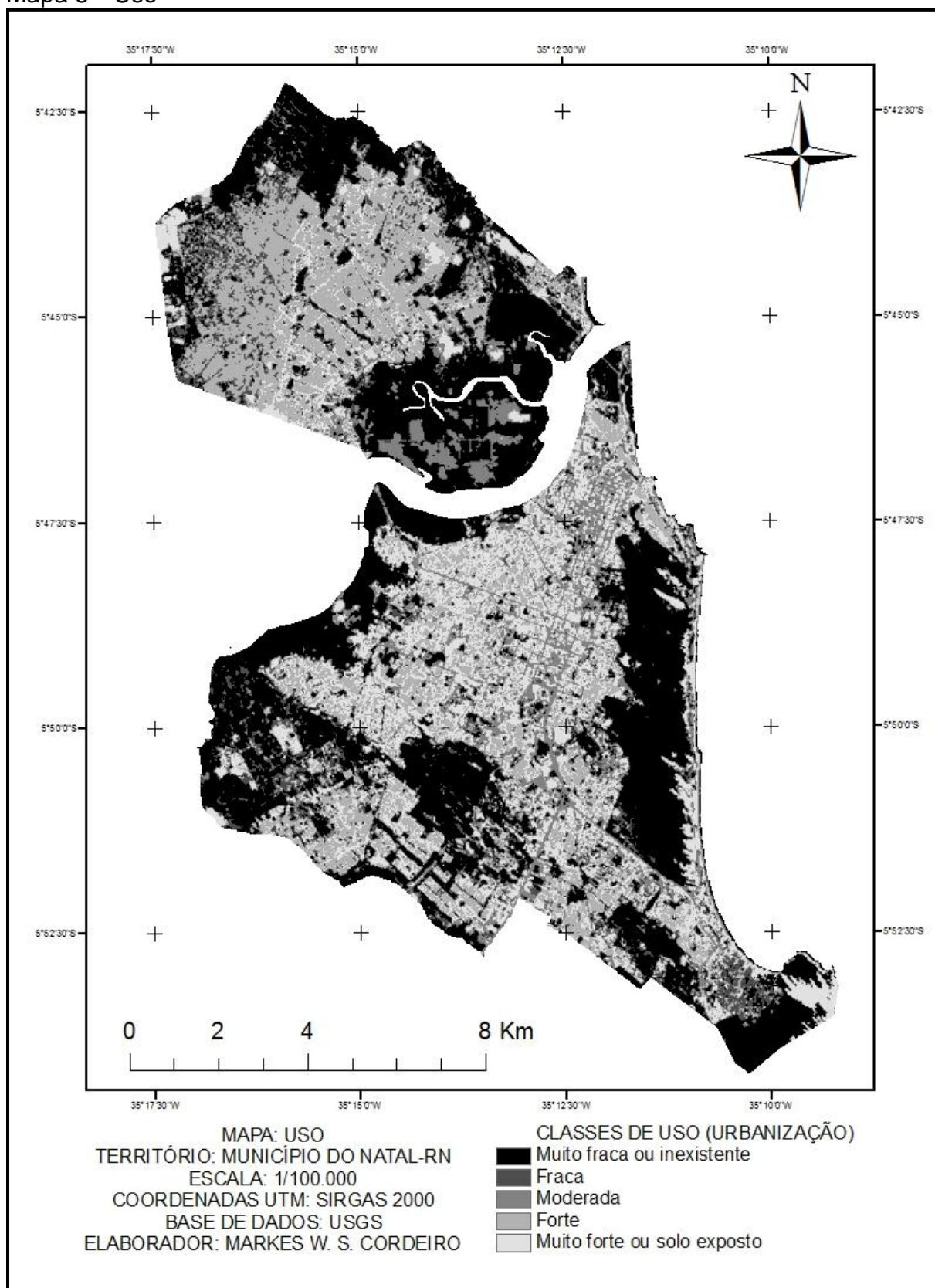
A Urbanização fraca representa um *Cluster* que marca as áreas de menor urbanização em relação ao resto da cidade (ex.: bairros periféricos), assim como

áreas com presença de cobertura vegetal menos densa e/ou inserida na malha urbana.

O menor grau (Muito Baixo) foi atribuído às áreas marcadas pela presença de vegetação forte e outras superfícies que não se enquadraram nas outras classes, como sombras de nuvens, corpos d'água e etc.

Destaca-se que o método usado pode incorrer em erros de classificação do *software* ao agrupar os *Clusters*. Logo, mesmo que se tenha realizado uma reclassificação desses por meio da fotointerpretação, o produto final ainda pode apresentar pequenos erros referentes a superfícies com informações espectrais semelhantes. Para verificar esses pequenos erros, foram realizadas visitas de campo para averiguar os resultados.

Mapa 8 – Uso



Fonte: Autoria própria (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a confecção dos mapas temáticos e a elaboração do IRE, foi possível estabelecer um mapa de risco a erosão a partir desse índice, assim como ratificar o método por meio de visitas de campo.

Para melhor apresentar os resultados e a discussão desses, foram divididas as seguintes etapas: mapa de risco a erosão, visitas de campo e gestão de risco.

4.1 MAPA DE RISCO A EROSÃO

A confecção do Mapa de Risco a Erosão foi realizada a partir do mapa de uso e dos outros mapas temáticos. O Mapa de Fragilidade do Solo a erosão foi representado pelos mapas de declividade, escoamento, vegetação e geologia, conforme o método adaptado de Ross (1992). Para se obter o Mapa de Risco a Erosão foi combinado o Mapa de Fragilidade do Solo com o Mapa de Uso. Foi utilizado o método de sobreposição aritmétrica dos mapas para confeccionar este Mapa de Risco a Erosão, por meio da ferramenta do ArcGis *Map Algebra*, que consiste em calcular os valores atribuídos aos *rasters* e chegar a um resultado integrado destes fatores. Dessa forma, foi obtido o Índice de Risco a Erosão (IRE) para todo o território estudado, sendo dividido em 5 classes: Muito Baixo (1), Baixo (2), Médio (3), Forte (4) e Muito Forte (5).

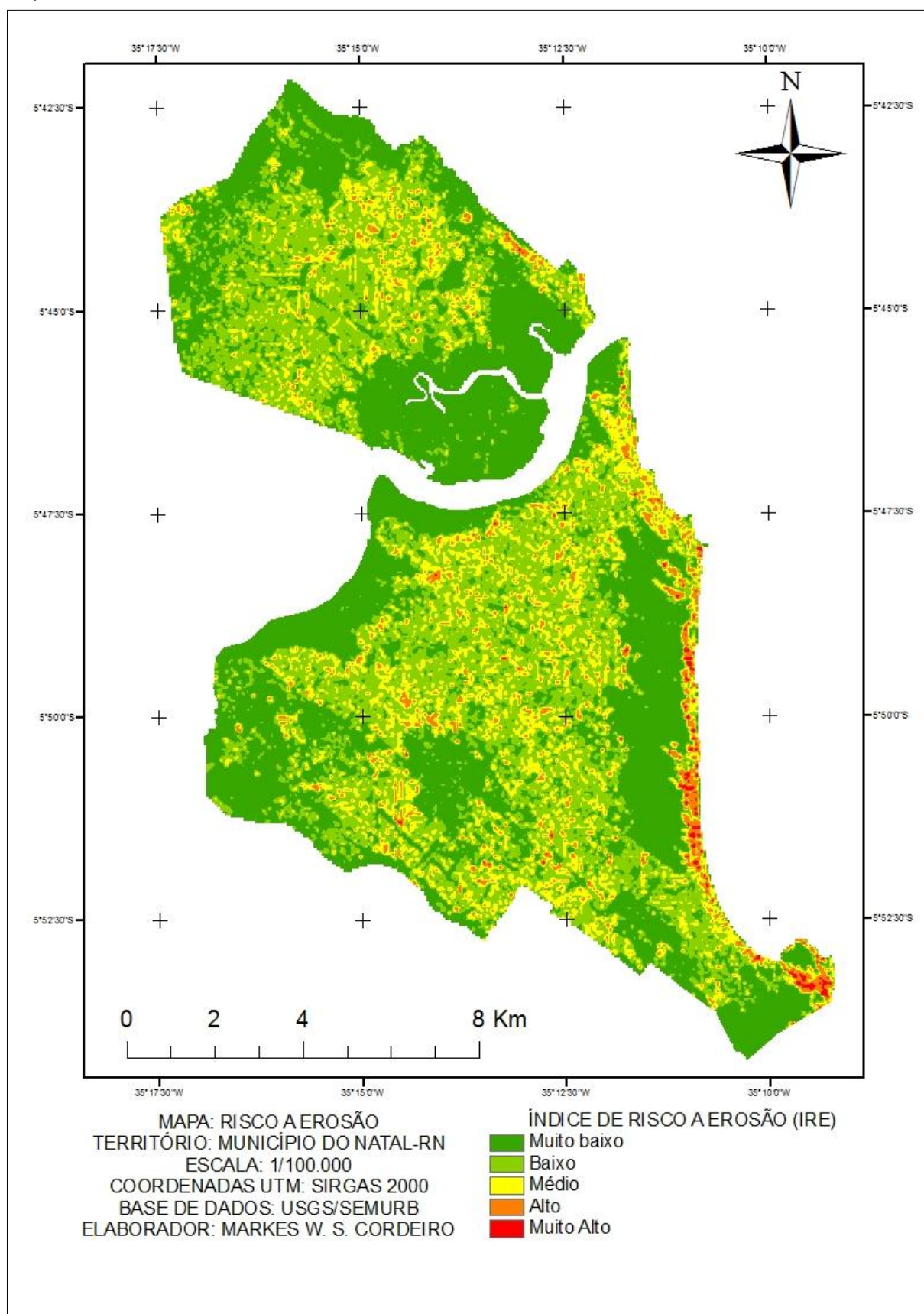
Primeiramente foram calculados os mapas de declividade, escoamento, vegetação e geologia para se obter o Mapa de Fragilidade do Solo. Conforme o método de Ross (1992) foi atribuído maior peso (dobro) ao fator declividade. Após obtenção deste mapa, foi realizada a álgebra entre o Mapa de Fragilidade do Solo e o Mapa de Uso, conforme as equações abaixo:

$$\begin{aligned} &(\text{Mapa de Declividade } \times 2) \times \text{Mapa de Escoamento} \times \text{Mapa de Geologia} \times \\ &\quad \text{Mapa de Vegetação} = \text{Mapa de Fragilidade a Erosão} \end{aligned} \quad (2)$$

↓

$$\text{Mapa de Fragilidade a Erosão} \times \text{Mapa de Uso} = \textbf{Mapa de Risco a Erosão} \quad (3)$$

Mapa 9 – Risco a erosão



Fonte: Autoria própria (2018)

Usando os preceitos da ecodinâmica, as áreas instáveis representam maior risco de desastres naturais por apresentarem maior ocorrência de processos morfogênicos, como o movimento de massa. Logo, para este trabalho foram divididas as áreas de risco a erosão, conforme o IRE, em relação à classificação dos meios descritos por Tricart (1977).

Quadro 10 – Classificação de meios ecodinâmicos pelo IRE

| IRE | Meios Ecodinâmicos |
|------------|---------------------------|
| 1 | Áreas Estáveis |
| 2 e 3 | Áreas Intergrades |
| 4 e 5 | Áreas Instáveis |

Fonte: Autoria própria (2017).

Esta divisão foi feita para hierarquizar a necessidade de visitas de campo e ratificar o IRE obtido na álgebra de mapas.

Utilizando uma ferramenta do ArcGis chamada *Raster to Polygon* foi possível vetorizar o Mapa de Risco a Erosão para se obter o cálculo da extensão do território estudado, sendo ao todo 157, 42 km², baseado nos arquivos obtidos da SEMURB. A área do Rio Potengi não foi contabilizada. O território estudado pode ser dividido para se visualizar o município pelo IRE, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Proporção do IRE para o território avaliado

| IRE | Proporção do território avaliado (%) |
|------------|---|
| 1 | 51,25 |
| 2 | 29,90 |
| 3 | 13,48 |
| 4 | 4,84 |
| 5 | 0,52 |

Fonte: Autoria própria (2017).

Logo, considerando as Áreas Instáveis como áreas de risco, mediante o IRE Alto (4) e Muito Alto (5), pode-se verificar que 5,36% do município apresenta áreas de risco a erosão, conseqüentemente, passíveis de desastres naturais como deslizamento de terra e queda de barreira. Destaca-se que mesmo áreas de risco com declividade baixa ainda podem ser atingidas por desastres naturais por

movimento de massa, como a queda de uma barreira em um solo que erodiu (ex.: parede de uma residência).

4.2 VISITAS DE CAMPO

As visitas de campo consistiram em registros fotográficos e verificação de processos erosivos marcantes, assim como a confirmação dos fatores usados nos mapas temáticos, como nível de urbanização, cobertura vegetal, etc. Possíveis erros gerados pela classificação do *software* no Mapa de Uso foram averiguados nas visitas de campo, assim como foram observados possíveis processos erosivos e se estas Áreas Instáveis estão inseridas no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

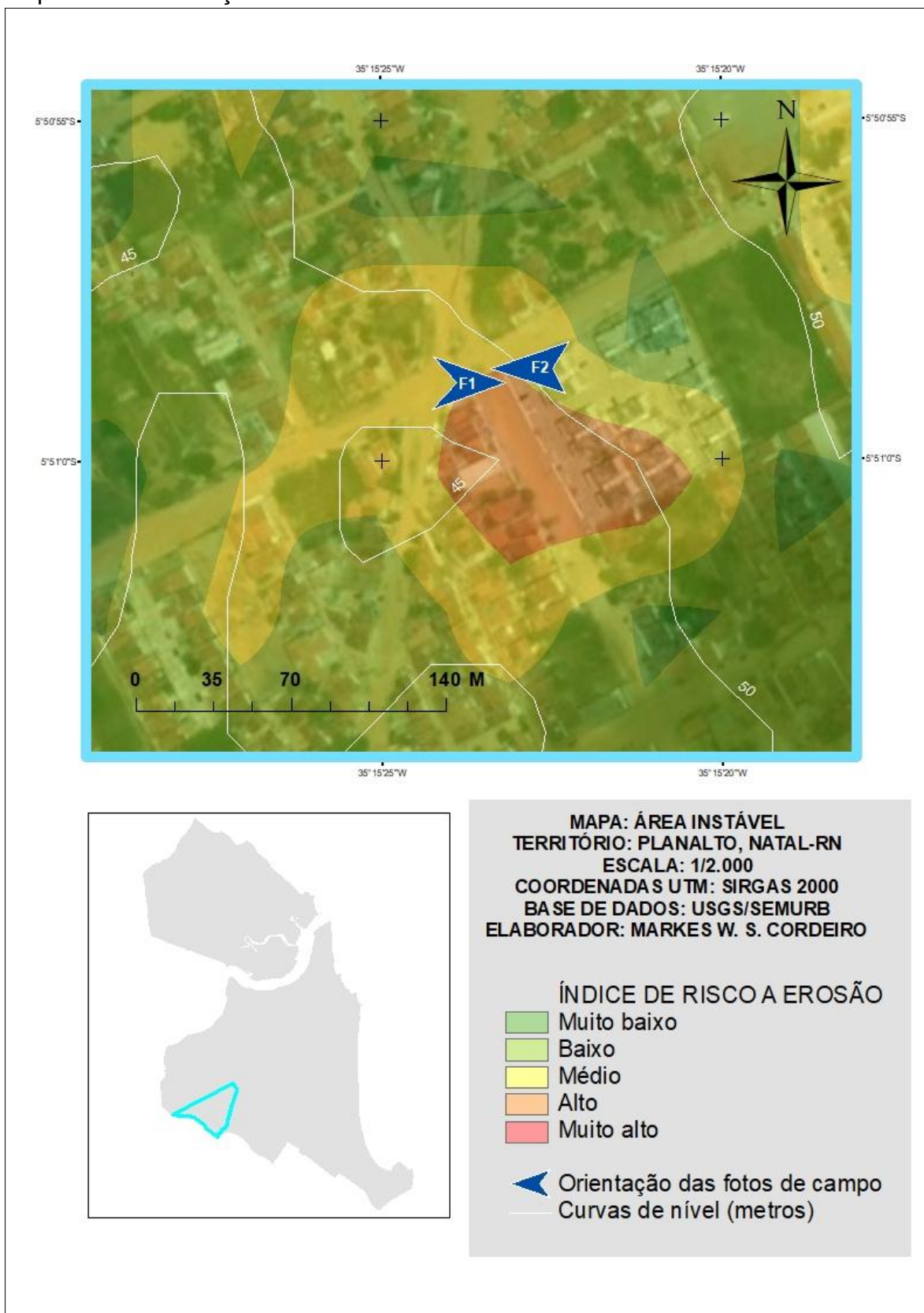
Foram realizadas visitas de campo em 8 bairros da cidade, totalizando 17 Áreas Instáveis. Os mapas de localização das visitas de campo foram confeccionados com a orientação dos registros fotográficos realizados, sendo esses indicados pelas siglas F1, F2 e F3, conforme cada Área Instável visitada. Nesses mapas também foram inseridas as curvas de nível do terreno para visualização do relevo das áreas visitadas.

4.2.1 Planalto

No dia 16 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 4 Áreas Instáveis no bairro Planalto.

Na Área Instável 1 foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 10 – Localização da Área Instável 1 no bairro Planalto



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Abreulândia (coordenadas geográficas 5°50'58.66"S / 35°15'22.79"O) foi verificado que a calçada do condomínio residencial (Jardim Planalto Central) na área foi reparada depois de danos causados pela chuva, conforme informado por moradores, e ainda apresenta estrutura danificada. Ainda na rua Abreulândia (coordenadas geográficas 5°50'58.16"S / 35°15'22.15"O) foi verificado um processo de erosão de solo adjacente a uma galeria de drenagem artificial.

Fotografia 1 – Rua Abreulândia (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

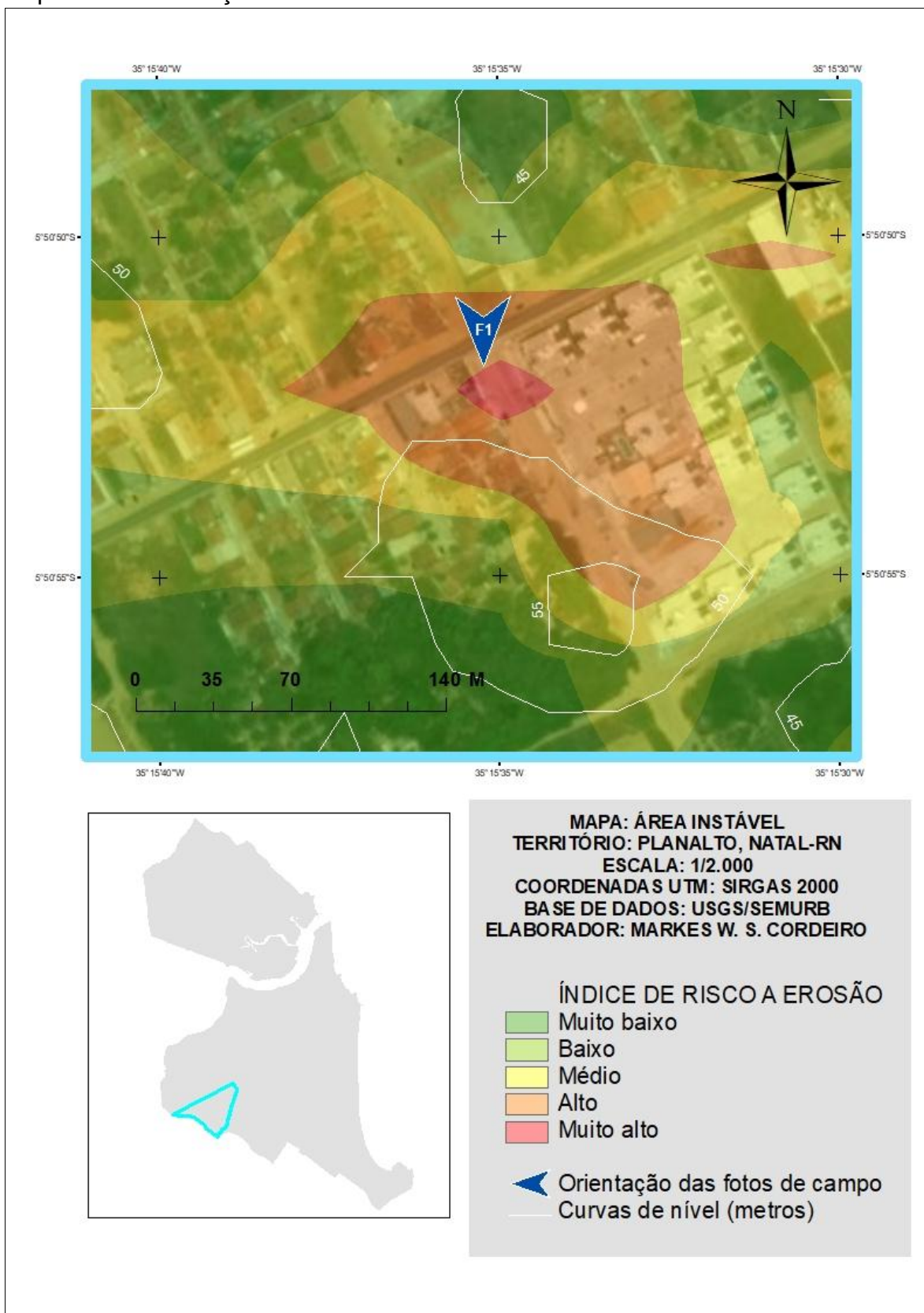
Fotografia 2 – Rua Abreulândia com a rua Maranata (F2)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 2 não foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 11 – Localização da Área Instável 2 no bairro Planalto



Fonte: Autoria própria (2018).

Na rua Monte Celeste com a rua Eng. João Hélio Alves Rocha (coordenadas geográficas 5°50'51.68"S / 35°15'34.76"O) a álgebra de mapas apresentou, possivelmente, o local como Área Instável pela presença de um condomínio residencial sem nenhuma cobertura vegetal, totalmente pavimentado e com uma área total de aproximadamente 15,2km², somado a uma via de solo exposto por onde passa uma drenagem pluvial com grau máximo de acumulação.

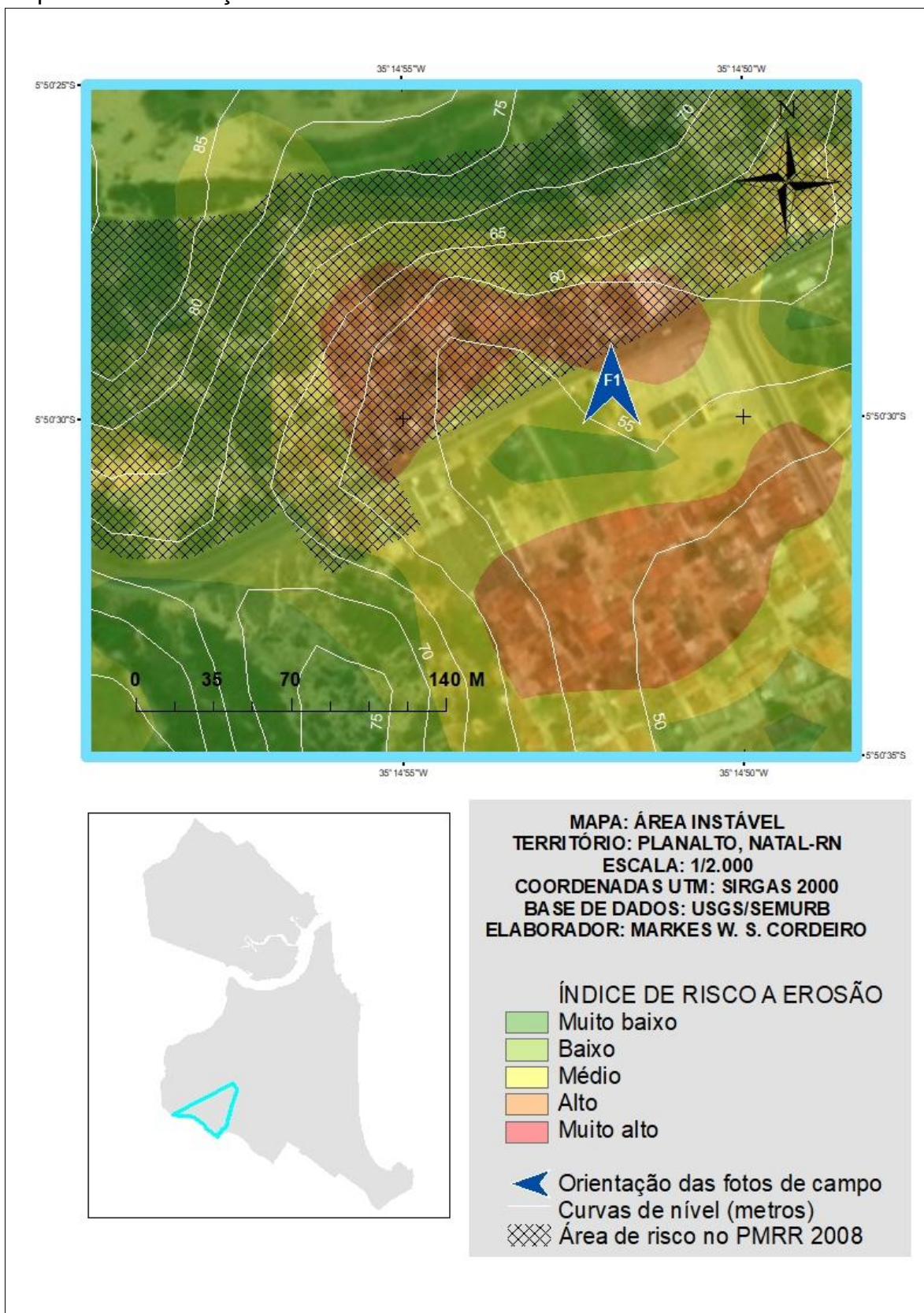
Fotografia 3 – Rua Monte Celeste com a rua Eng. João Hélio Alves Rocha (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 3 não foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área está inserida parcialmente no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 12 – Localização da Área Instável 3 no bairro Planalto



Fonte: Autoria própria (2018).

Na rua Eng. João Hélio Alves Rocha (coordenadas geográficas 5°50'28.58"S / 35°14'51.75"O) a álgebra de mapas apresentou o local como Área Instável pela instalação de edificações na base da duna fixa, inclusive com acessos improvisados entre as residências (escadas de madeira).

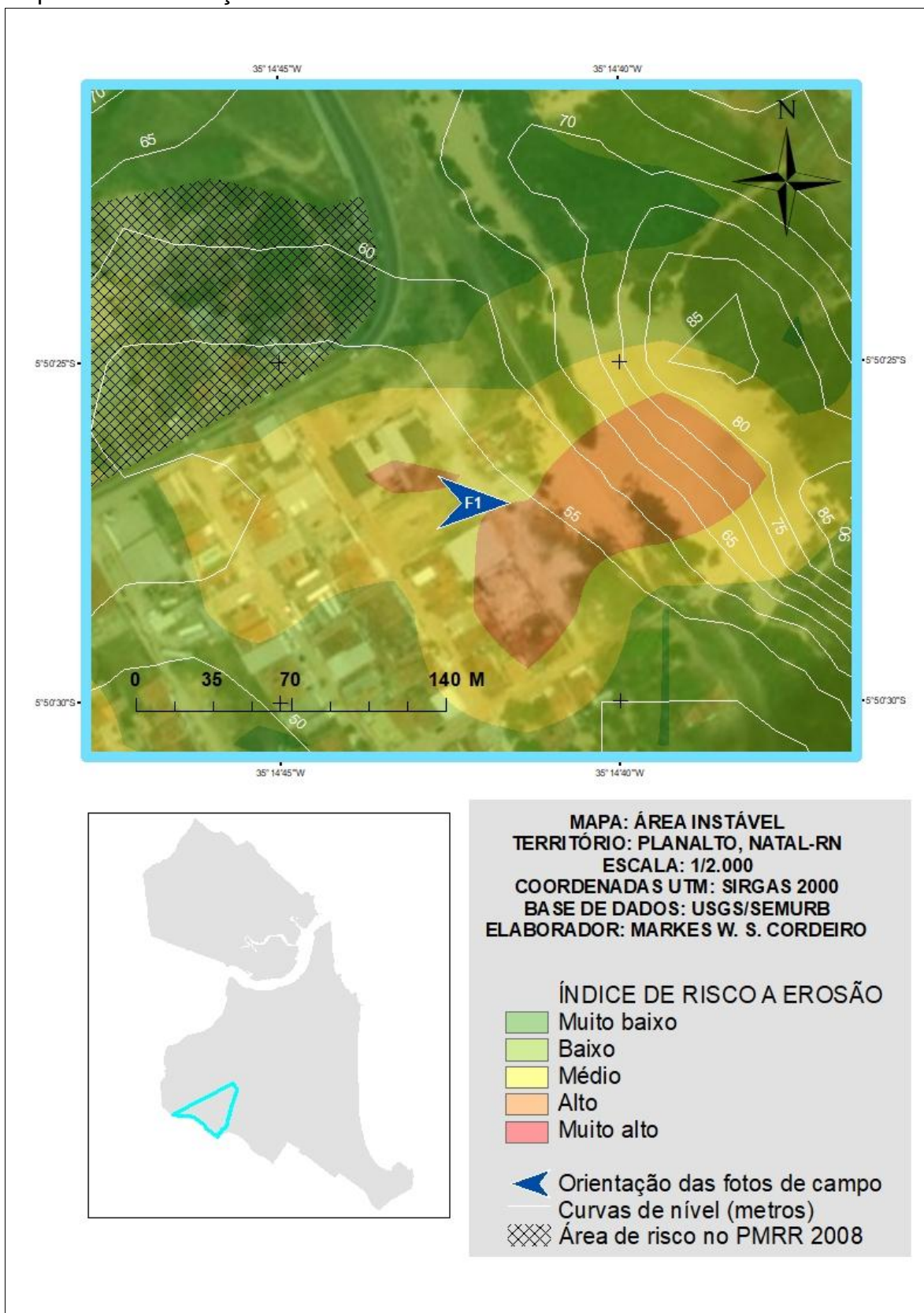
Fotografia 4 – Rua Eng. João Hélio Alves Rocha (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 4 foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 13 – Localização da Área Instável 4 no bairro Planalto



Fonte: Autoria própria (2018).

Na rua Alzira (coordenadas geográficas 5°50'26.54"S / 35°14'40.03"O) percebe-se que as residências estão no limite da base da duna, podendo serem atingidas pelo avanço desta.

Fotografia 5 – Rua Alzira (F1)



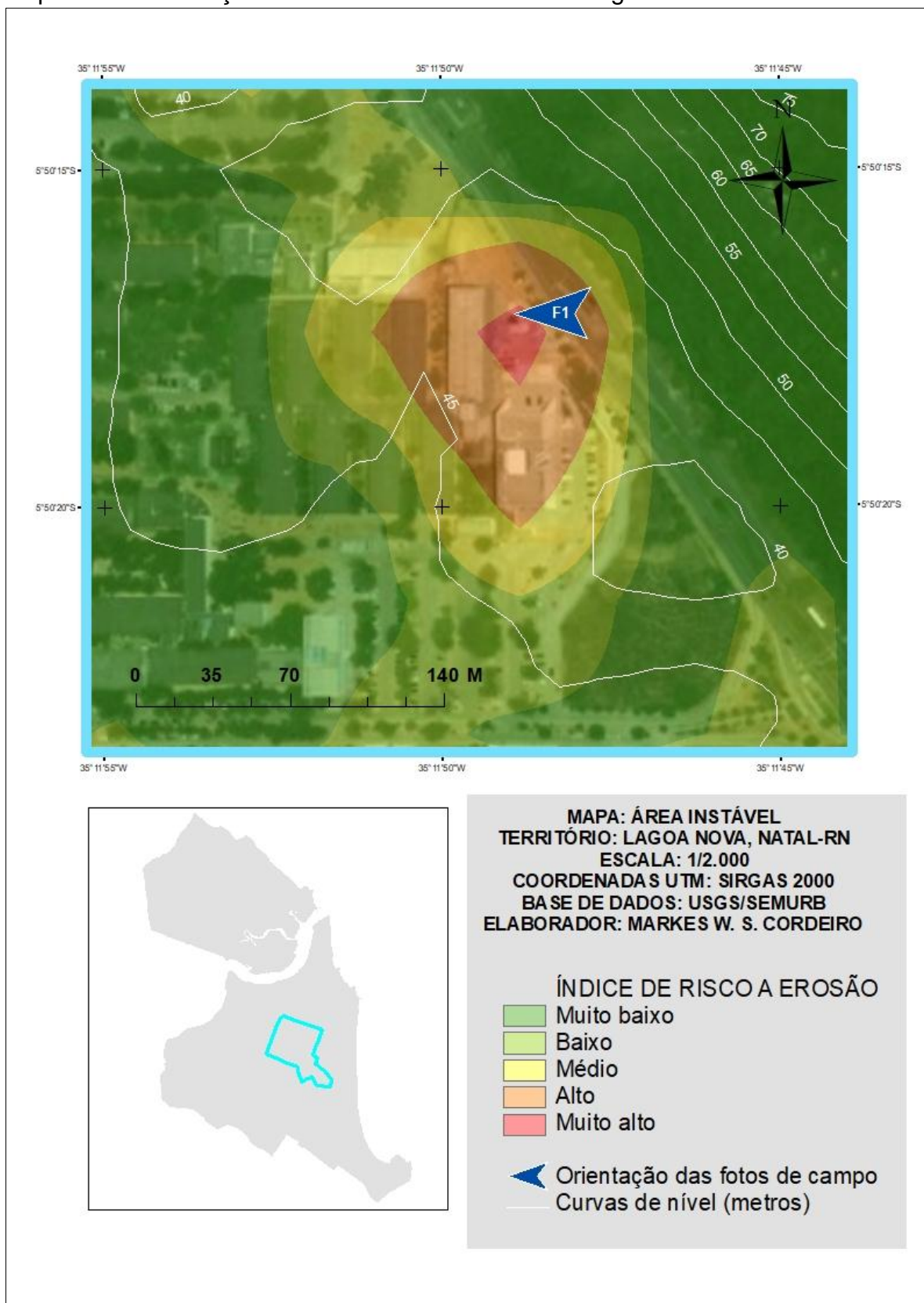
Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.2 Lagoa Nova

No dia 10 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 3 Áreas Instáveis no bairro Lagoa Nova.

Na Área Instável 1 foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 14 – Localização da Área Instável 1 no bairro Lagoa Nova



Fonte: Autoria própria (2018).

No Centro de Educação no Campus da UFRN (coordenadas geográficas 5°50'17.31''S / 35°11'49.36''O) foi verificada a realização de um corte no terreno para uma obra de estacionamento pavimentado. Contudo, como não houve ainda uma contenção física, ou outro tipo de intervenção, o solo está sofrendo forte processo erosivo, podendo inclusive afetar a edificação adjacente.

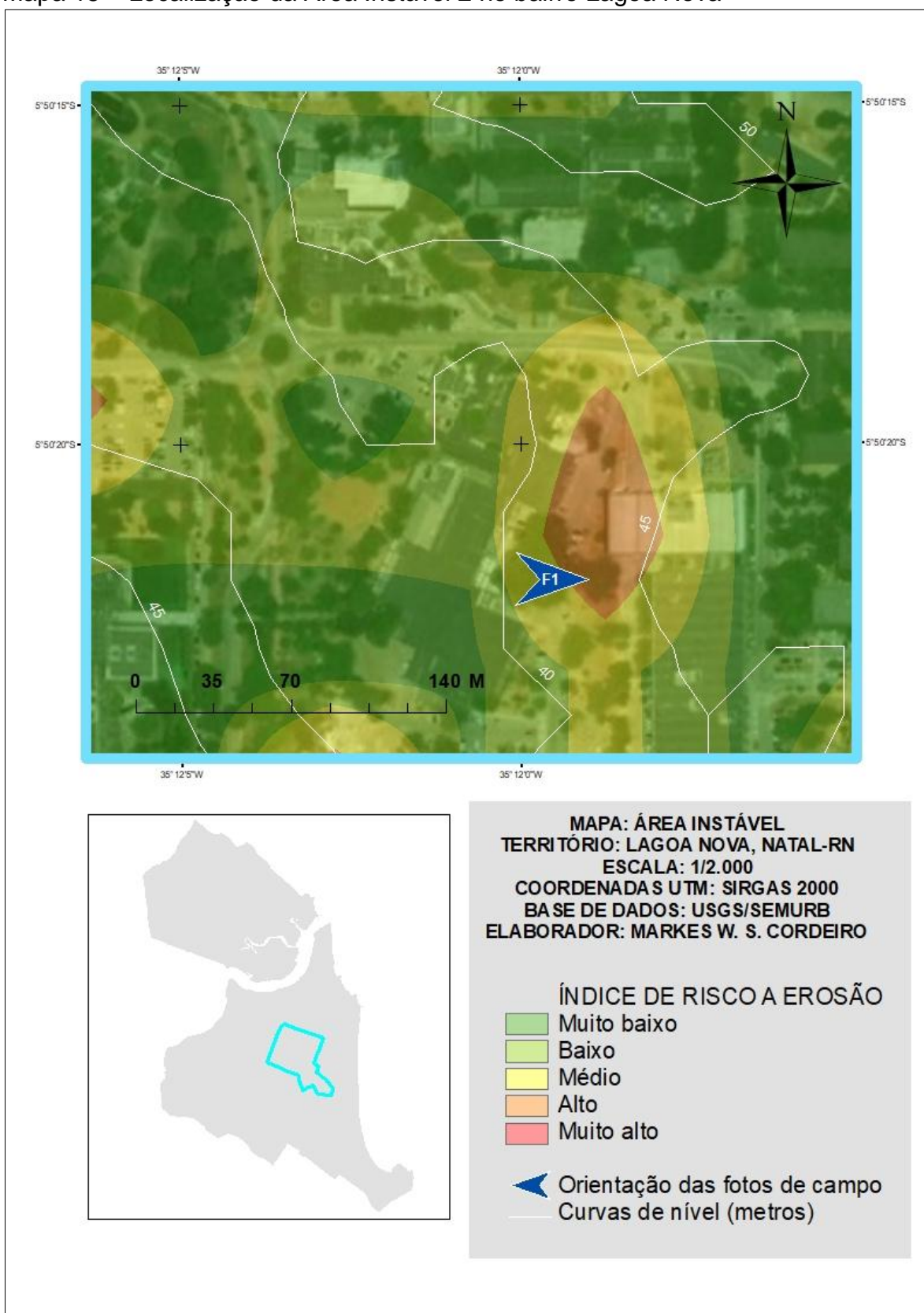
Fotografia 6 – Centro de Educação no Campus da UFRN (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 2 foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 15 – Localização da Área Instável 2 no bairro Lagoa Nova



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Biblioteca Central no Campus da UFRN (coordenadas geográficas 5°50'22.04"S / 35°11'58.36"O) foi verificado que os processos erosivos estão expondo as raízes de uma árvore, inclusive podem ser percebidos indícios do que era uma estrutura, possivelmente uma cerca, instalada no local.

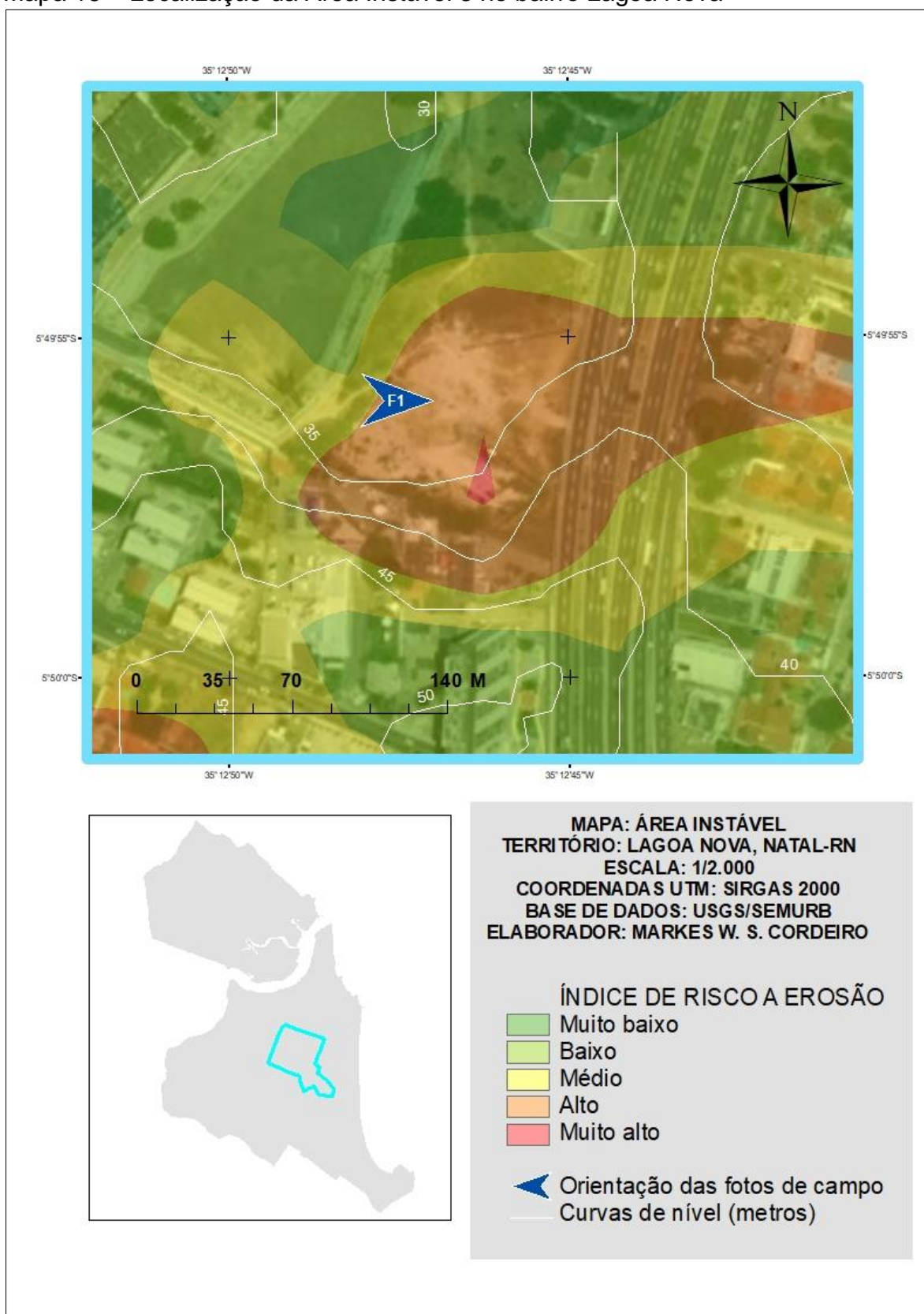
Fotografia 7 – Biblioteca Central no Campus da UFRN (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 3 não foram verificados indícios de processos erosivos atuando. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 16 – Localização da Área Instável 3 no bairro Lagoa Nova



Fonte: Autoria própria (2018).

No terreno ao lado do Centro Administrativo do Estado do RN (coordenadas geográficas 5°49'55.05"S / 35°12'46.03"O) a álgebra de mapas apresentou, possivelmente, o local como Área Instável por ser uma grande extensão de solo exposto ao lado de uma lagoa de captação das águas da chuva, instalada em uma elevação mais baixa. Esta área é eventualmente usada para instalação de circos de grande porte.

Fotografia 8 – Terreno ao lado do Centro Administrativo do Estado do RN (F1)



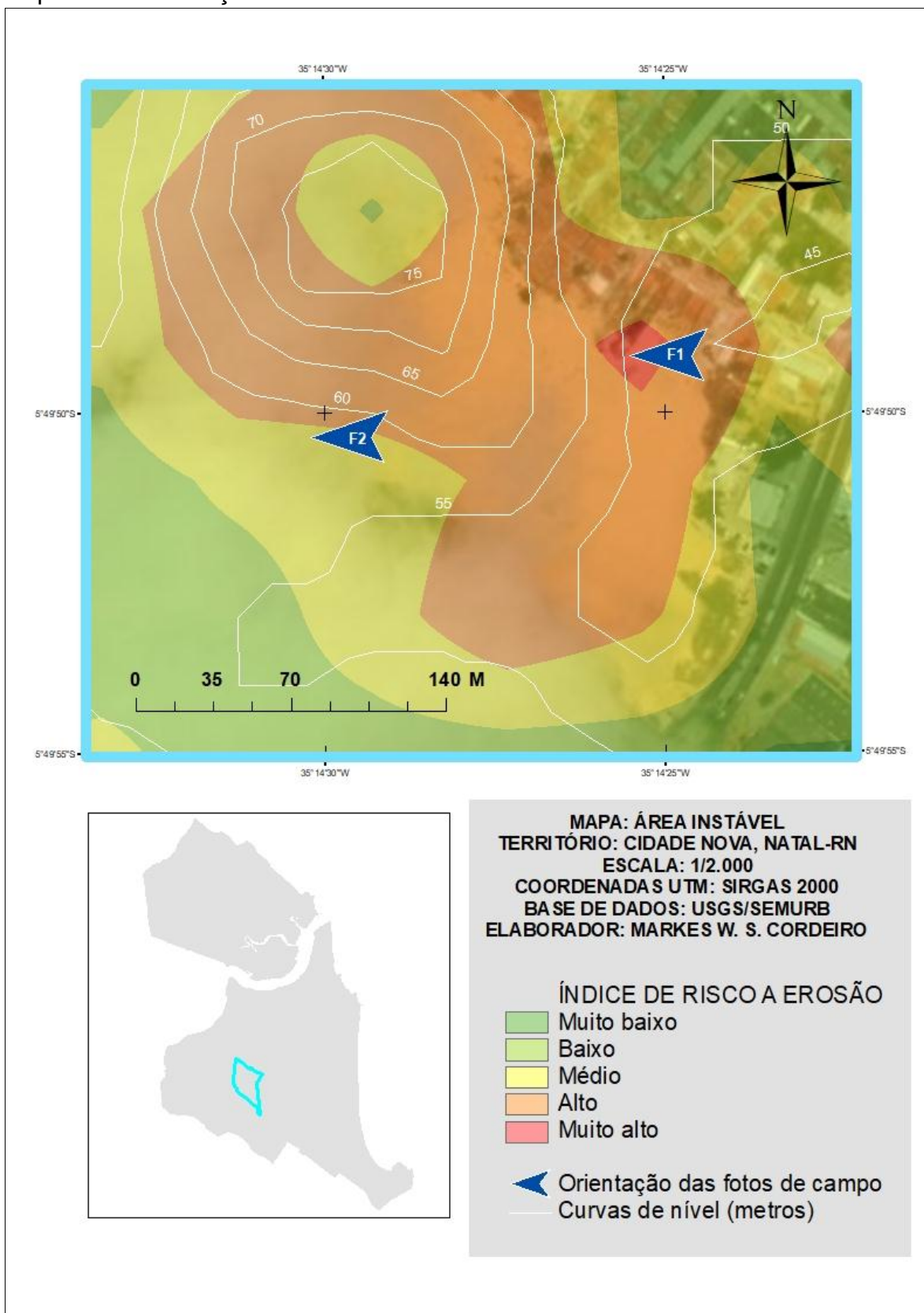
Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.3 Cidade Nova

No dia 11 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 2 Áreas Instáveis no bairro Cidade Nova.

Na Área Instável 1 foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 17 – Localização da Área Instável 1 no bairro Cidade Nova



Fonte: Autoria própria (2018).

Na travessa Solange Nunes do Nascimento (coordenadas geográficas $5^{\circ}49'49.80''S$ / $35^{\circ}14'24.10''O$) a álgebra de mapas apresentou, possivelmente, o local como Área Instável pela existência de edificações instaladas em cima de dunas móveis. Na avenida Norte (coordenadas geográficas $5^{\circ}49'50.90''S$ / $35^{\circ}14'29.51''O$) foi verificada a realização de contenção física por meio de pneus na tentativa de evitar que a duna móvel avance (processo morfogênico).

Fotografia 9 – Travessa Solange Nunes do Nascimento (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

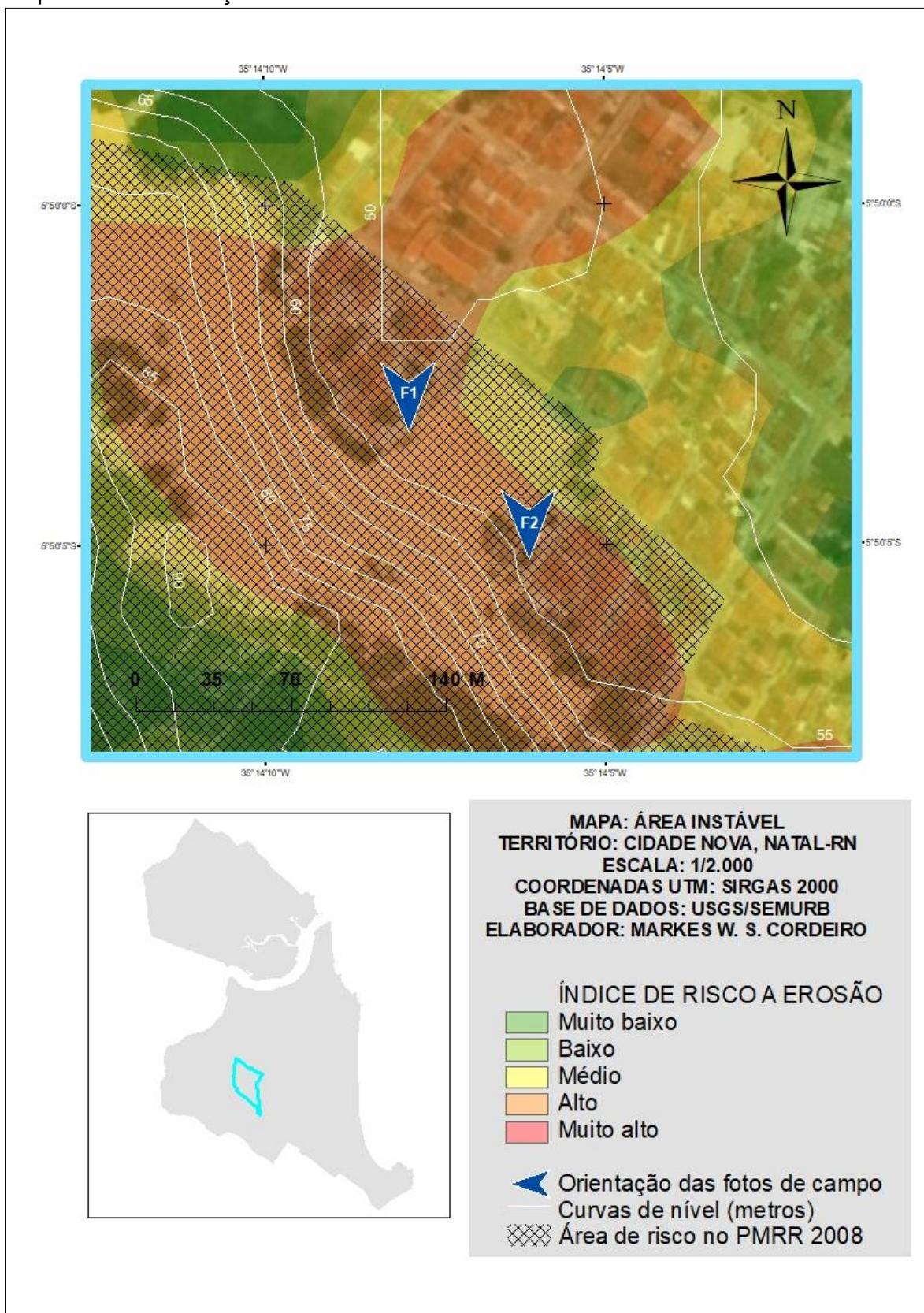
Fotografia 10 – Avenida Norte (F2)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 2 foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área está parcialmente inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 18 – Localização da Área Instável 2 no bairro Cidade Nova



Fonte: Autoria própria (2018).

Na avenida Interventor Mário Câmara (coordenadas geográficas 5°50'05.54"S / 35°14'06.10"O) foi verificada a realização de contenção física na tentativa de evitar deslizamento da duna.

Fotografia 11 – Avenida Interventor Mário Câmara (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na rua Manoel Fernandes (coordenadas geográficas 5°50'03.54"S / 35°14'08.18"O) a álgebra de mapas indicou como Área Instável pela presença de residências na base da duna fixa.

Fotografia 12 – Rua Manoel Fernandes (F2)



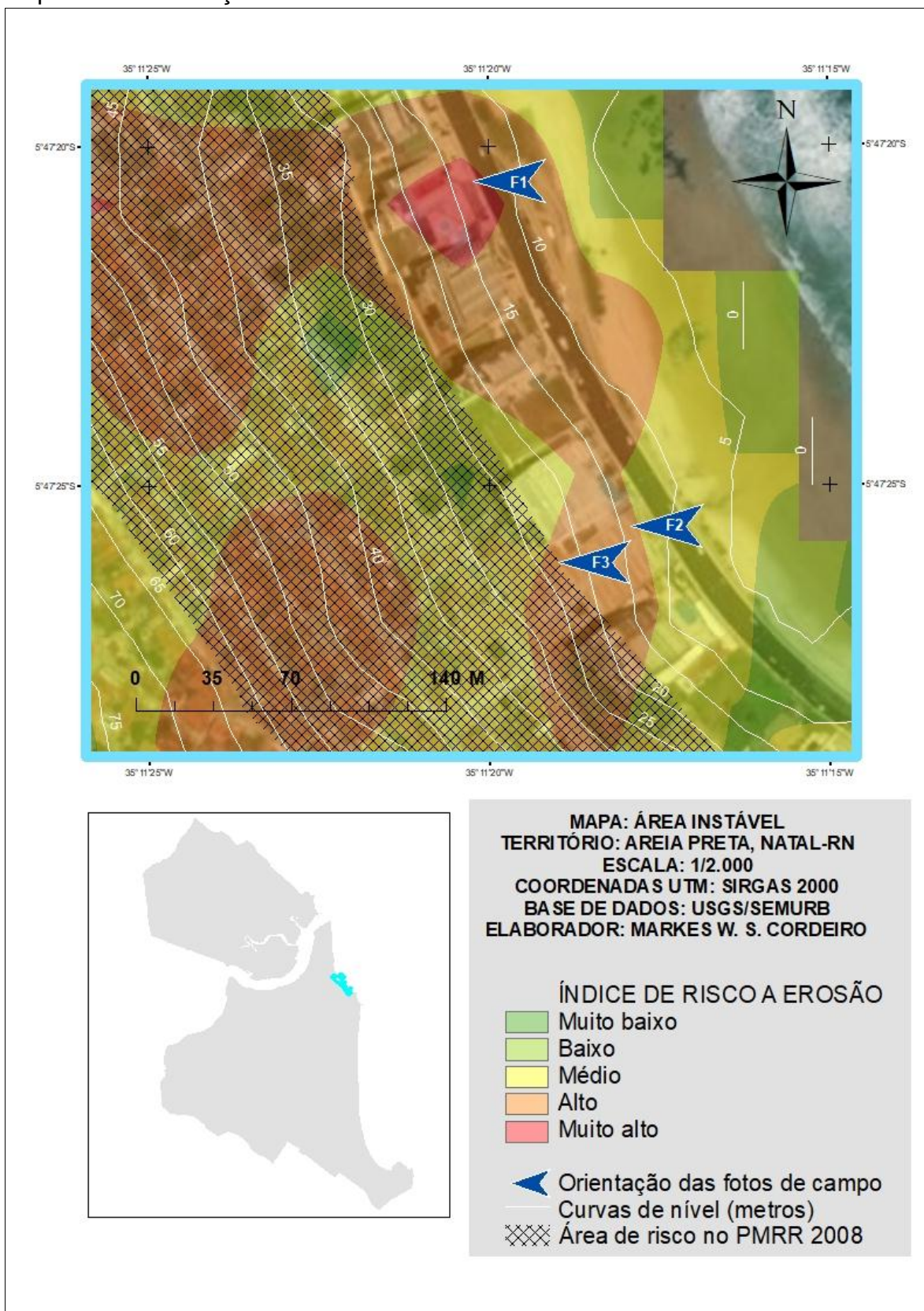
Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.4 Areia Preta

No dia 18 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 1 Área Instável no bairro Areia Preta.

Na Área Instável foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área está parcialmente inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008. Como o PMRR avaliou apenas o bairro de Mãe Luiza, foi considerado parte desta área dentro do mapa de risco de 2008.

Mapa 19 – Localização da Área Instável no bairro Areia Preta



Fonte: Autoria própria (2018).

Na avenida Governador Silvio Pedrosa (coordenadas geográficas $5^{\circ}47'20.85''S$ / $35^{\circ}11'20.78''O$) a álgebra de mapas apresentou, possivelmente, o local como Área Instável pela existência de forte declividade no terreno. Percebe-se que foi executada uma contenção física, depois de forte corte no terreno, separando a edificação na parte mais baixa (bairro de Areia Preta) das edificações na parte mais alta (bairro de Mãe Luiza).

Fotografia 13 – Avenida Governador Silvio Pedrosa (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

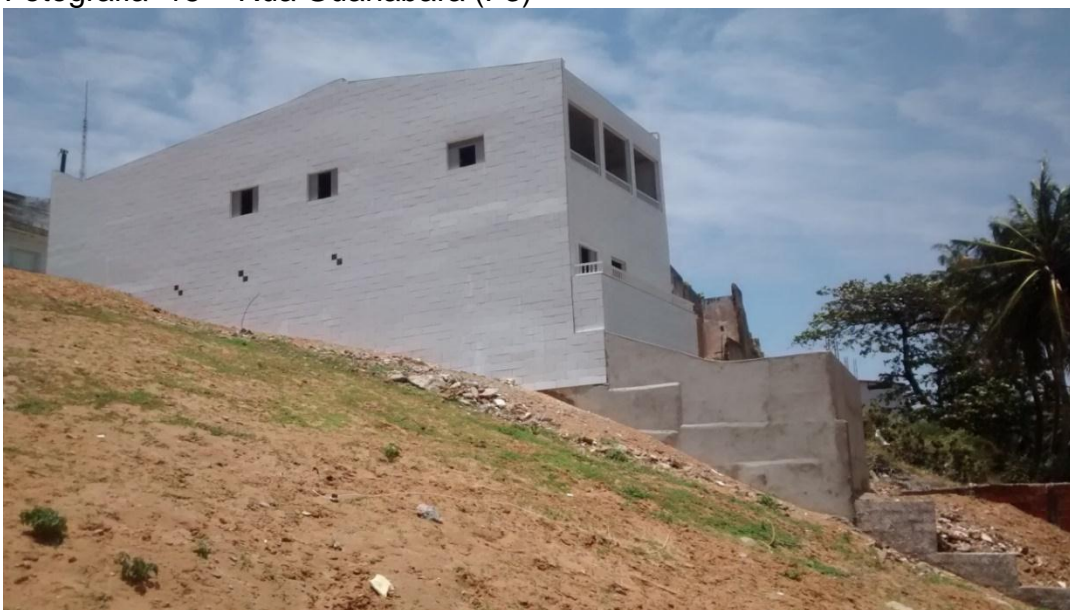
Na avenida Governador Silvio Pedrosa (coordenadas geográficas $5^{\circ}47'28.27''S$ / $35^{\circ}11'17.90''O$) a álgebra de mapas apresentou, possivelmente, o local como Área Instável pela existência de forte declividade no terreno. Depois do desastre natural (movimento de massa) ocorrido no ano de 2014, a prefeitura realizou a recuperação da área ao instalar uma escadaria de acesso que liga os bairros de Areia Preta e Mãe Luiza. Na rua Guanabara (coordenadas geográficas $5^{\circ}47'26.07''S$ / $35^{\circ}11'19.38''O$) foram verificados processos erosivos atuantes, onde está instalada uma edificação em terreno com declividade alta e solo exposto. Este local fica adjacente à área recuperada pela prefeitura.

Fotografia 14 – Avenida Governador Silvio Pedrosa (F2)



Fonte: Aatoria própria (2017).

Fotografia 15 – Rua Guanabara (F3)



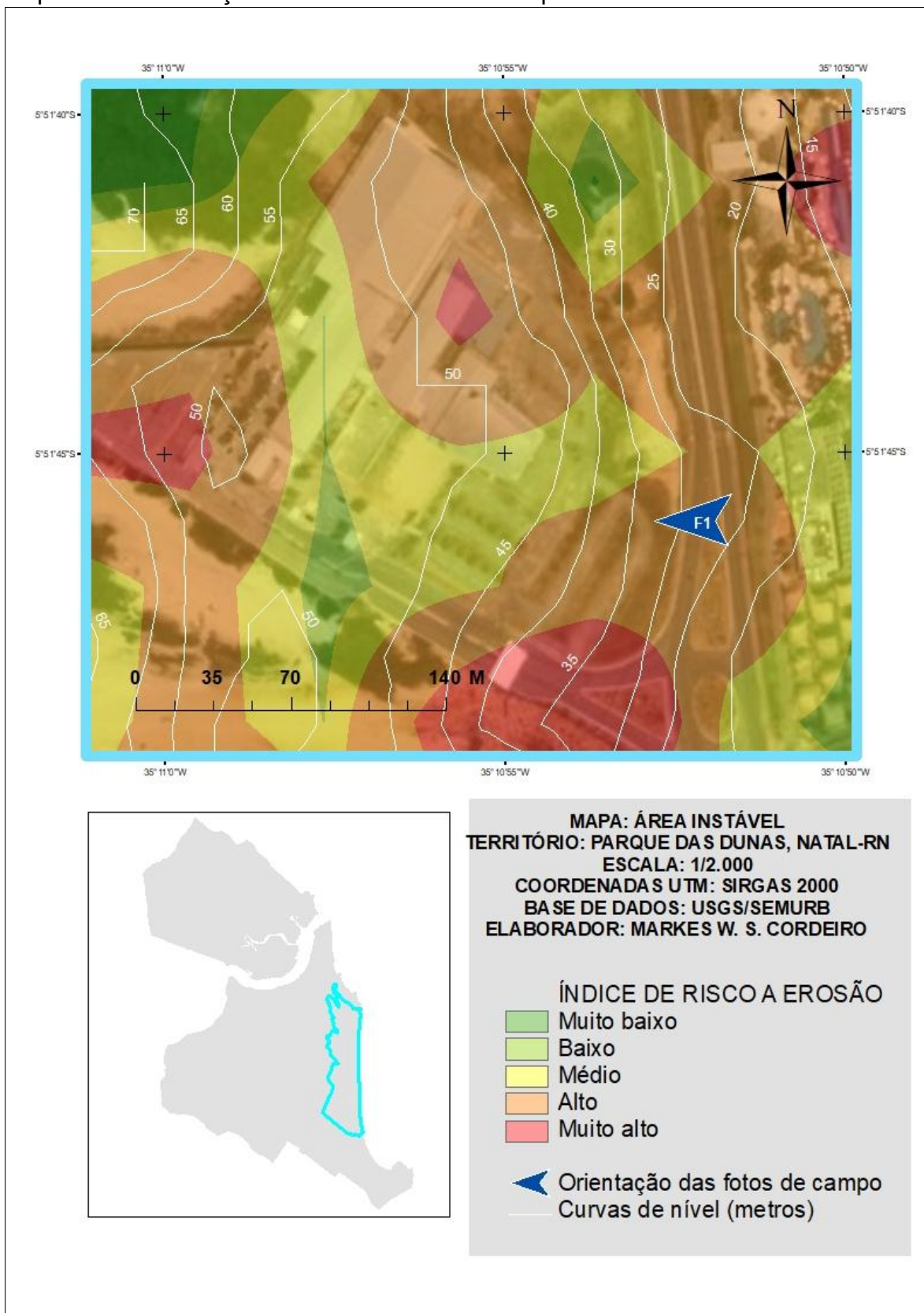
Fonte: Aatoria própria (2017).

4.2.5 Parque das Dunas

No dia 18 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 1 Área Instável no Parque das Dunas.

Na Área Instável não foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 20 – Localização da Área Instável no Parque das Dunas



Fonte: Autoria própria (2018).

Na avenida Senador Dinarte Mariz (coordenadas geográficas 5°51'45.29"S / 35°10'52.85"O) a álgebra de mapas apresentou o local como Área Instável pela presença de uma grande edificação (Centro de Convenções de Natal) instalada em cima de dunas móveis. Esta edificação encontra-se em processo de ampliação.

Fotografia 16 – Avenida Senador Dinarte Mariz (F1)



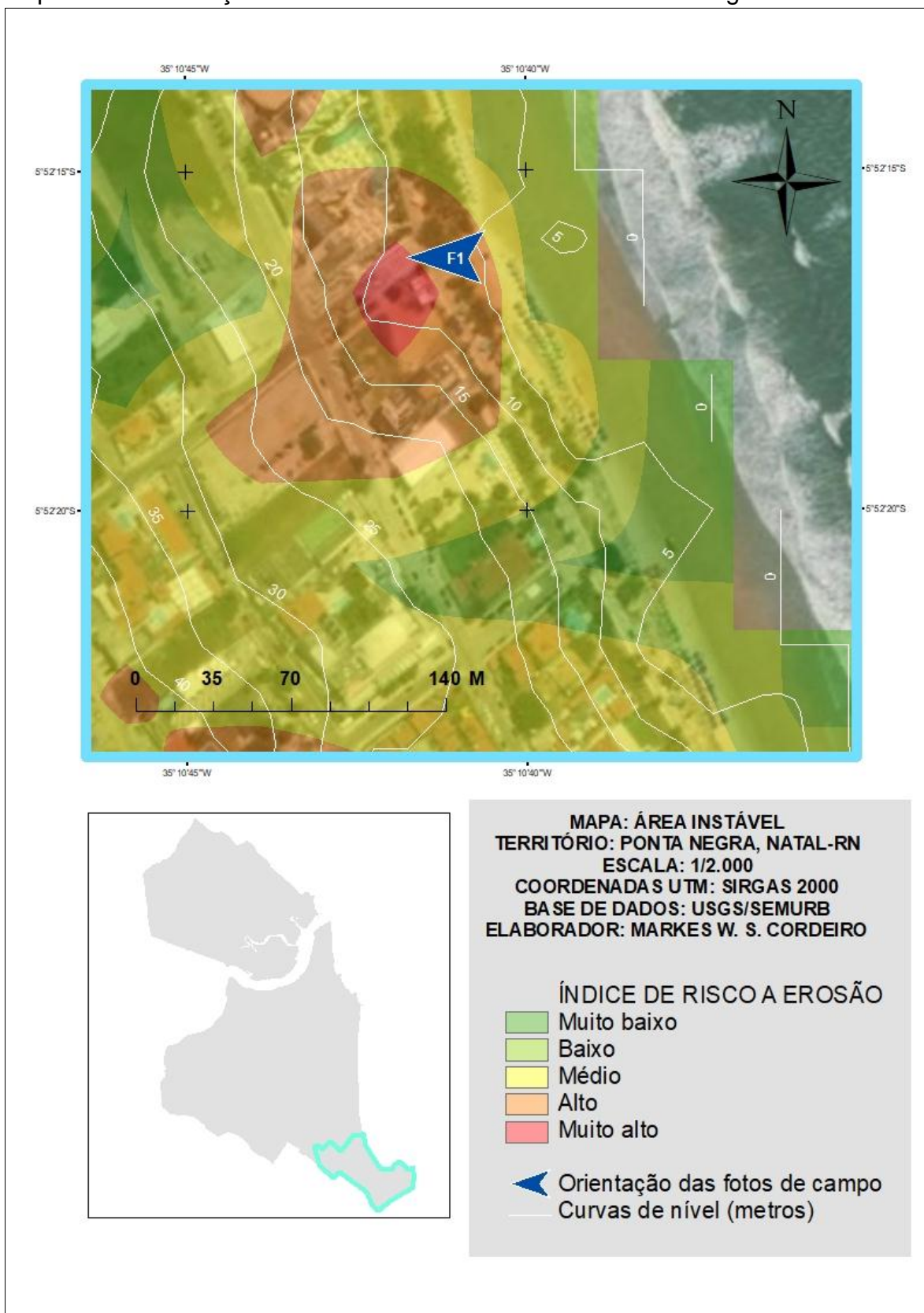
Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.6 Ponta Negra

No dia 21 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 3 Áreas Instáveis no bairro Ponta Negra.

Na Área Instável 1 foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 21 – Localização da Área Instável 1 no bairro de Ponta Negra



Fonte: Autoria própria (2018).

Na rua Skal (coordenadas geográficas 5°52'16.31"S / 35°10'41.39"O) foi verificado que os processos erosivos estão comprometendo o acesso da escada, inclusive podendo afetar edificações adjacentes. Freqüentadores do local confirmaram que a escada foi reconstruída por ter sido destruída em períodos anteriores, possivelmente pela ação de processos erosivos.

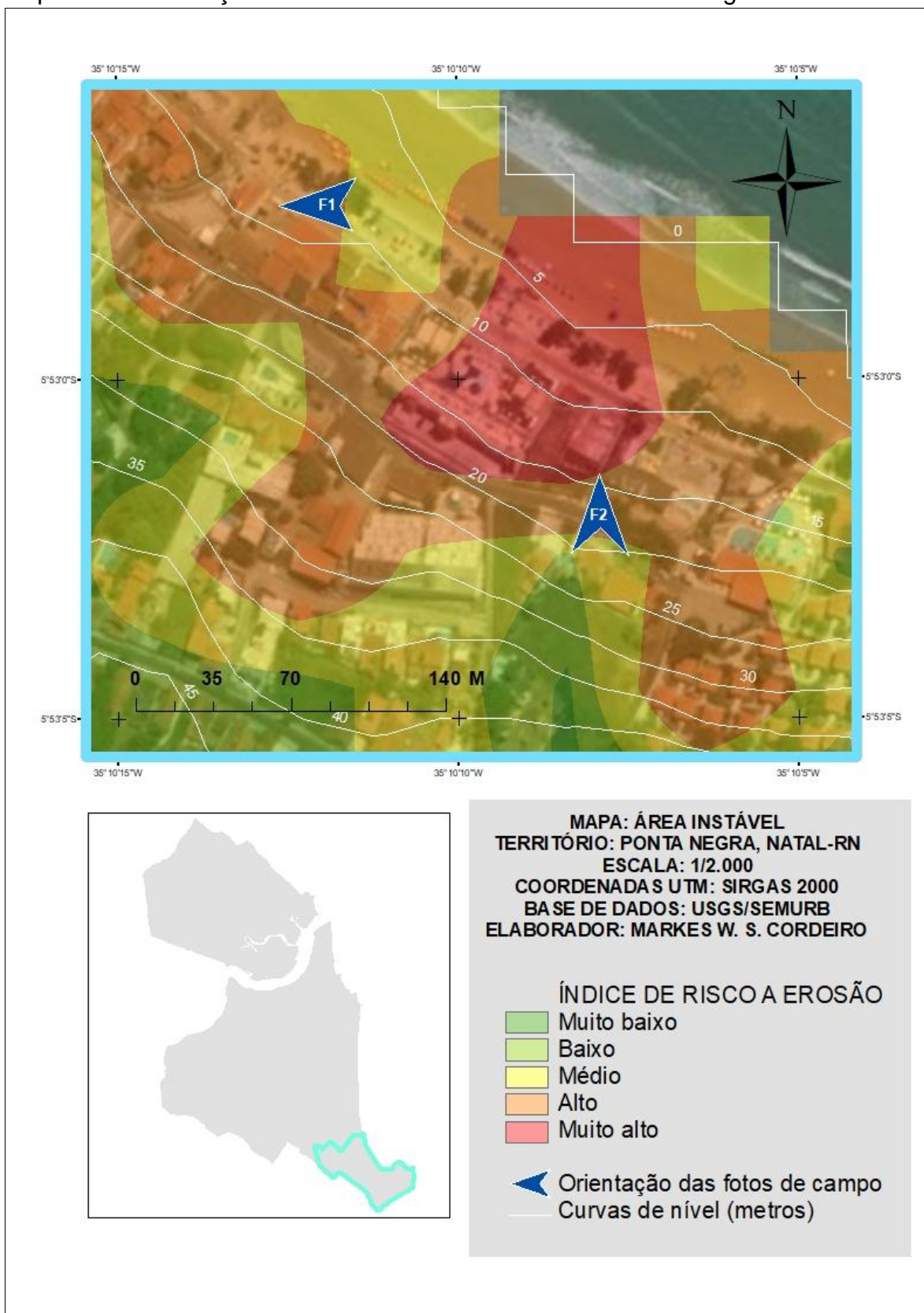
Fotografia 17 – Rua Skal (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 2 não foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

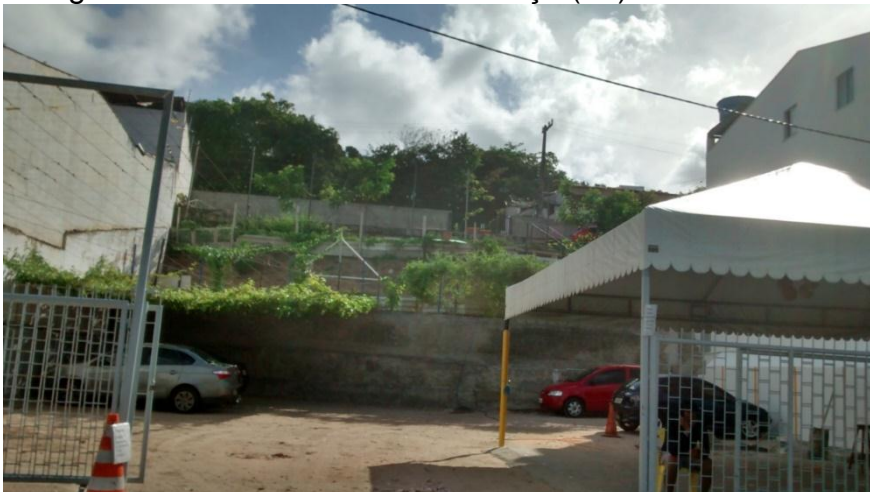
Mapa 22 – Localização da Área Instável 2 no bairro de Ponta Negra



Fonte: Autoria própria (2018).

Na avenida Erivan França (coordenadas geográficas 5°52'57.58"S / 35°10'12.30"O) percebe-se uma terraplanagem realizada na encosta para construção de um estacionamento.

Fotografia 18 – Avenida Erivan França (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na rua da Praia (coordenadas geográficas 5°53'01.90"S / 35°10'07.74"O) o acesso para a avenida Erivan França pode funcionar como uma drenagem artificial para o escoamento pluvial, inclusive podendo desencadear processos erosivos se ocorrer infiltração desse escoamento.

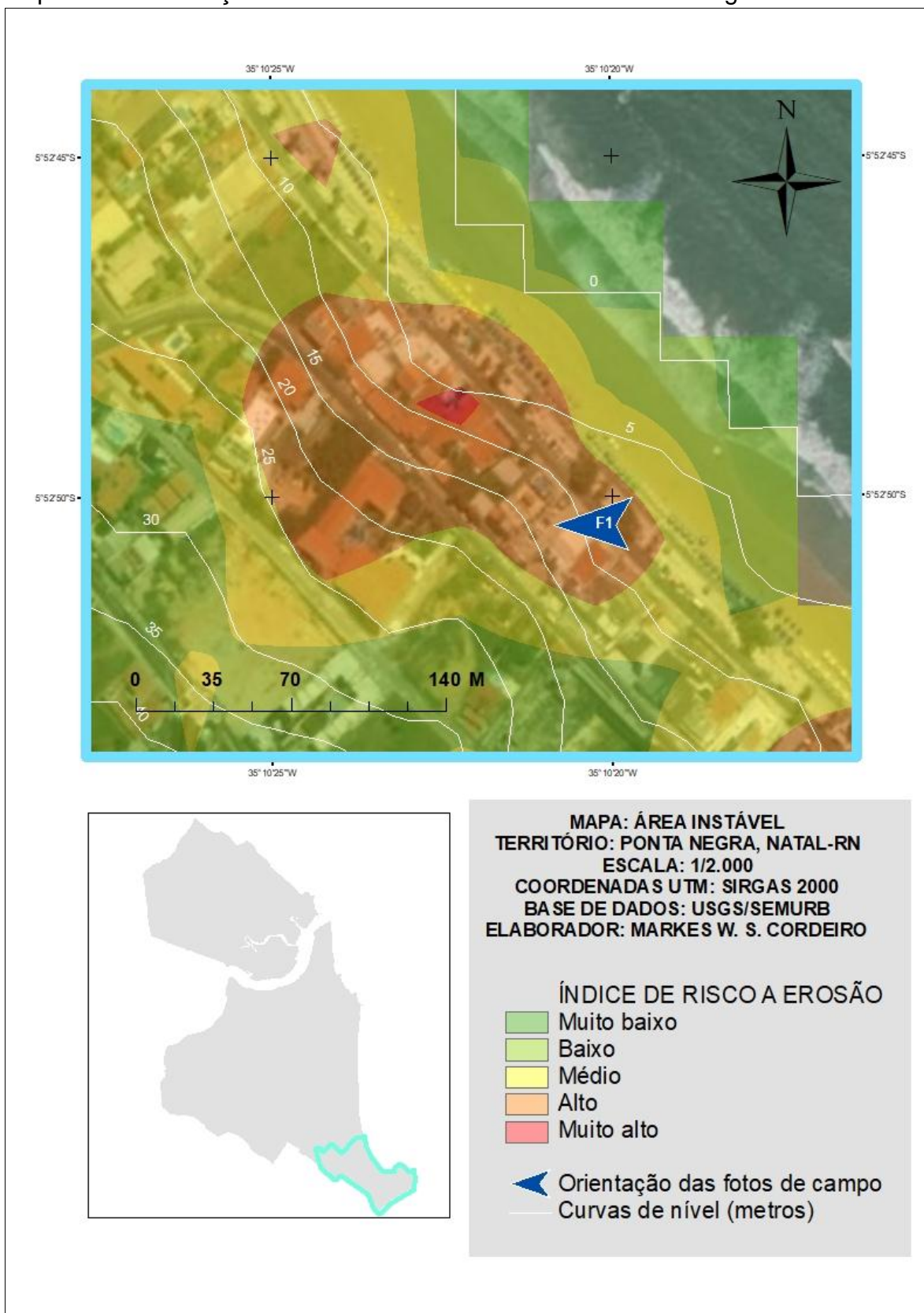
Fotografia 19 – Rua da Praia (F2)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 3 não foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 23 – Localização da Área Instável 3 no bairro de Ponta Negra



Fonte: Autoria própria (2018).

Na avenida Erivan França (coordenadas geográficas 5°52'50.05"S / 35°10'20.23"O) a álgebra de mapas classificou esta área como instável possivelmente por apresentar declividade acentuada (Grau 5) e baixa cobertura vegetal (Grau 5). Percebe-se uma terraplanagem realizada na encosta para construção de um estacionamento.

Fotografia 20 – Avenida Erivan França (F1)



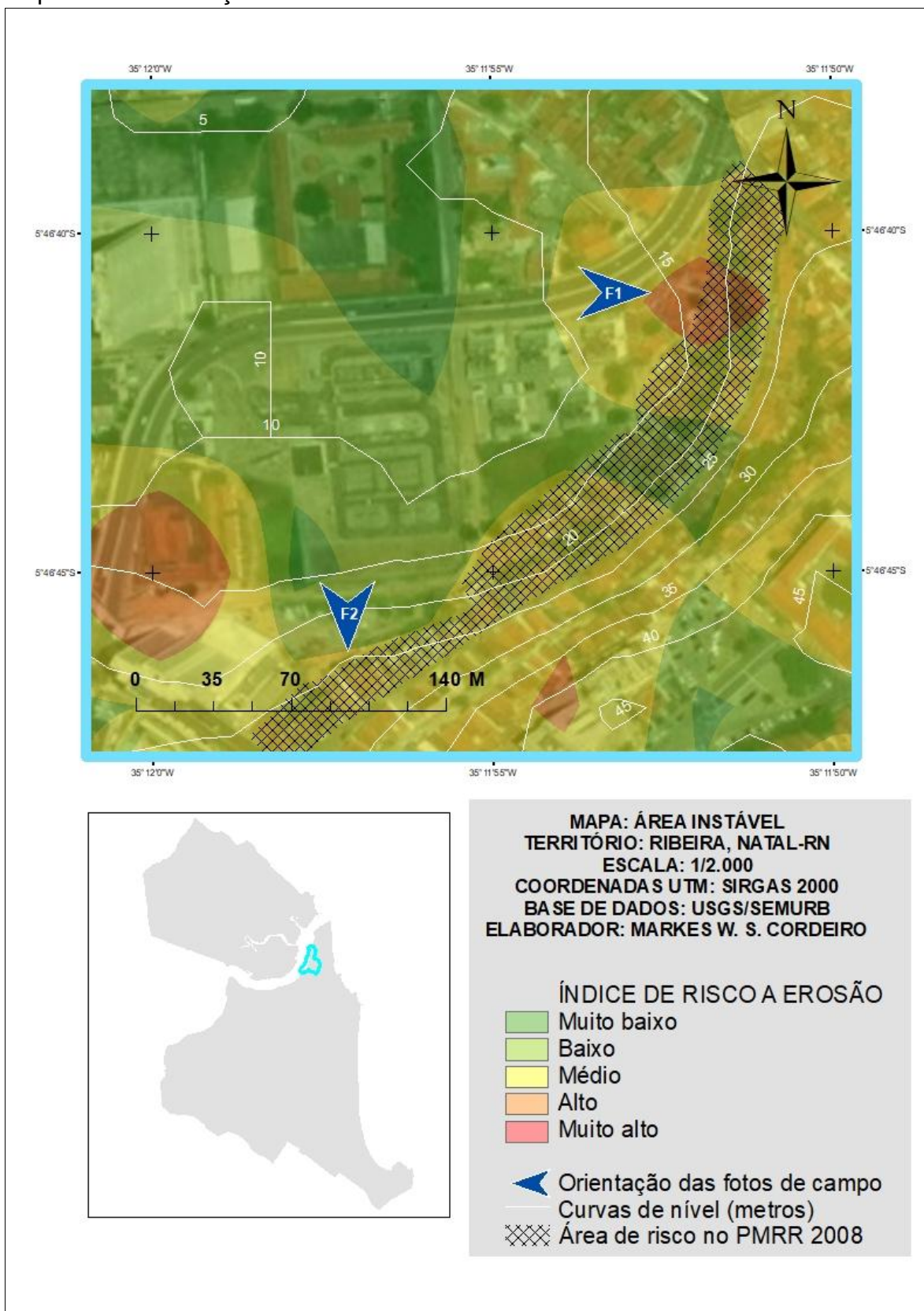
Fonte: Autoria própria (2017).

4.2.7 Ribeira

No dia 25 de outubro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 1 Área Instável no bairro Rocas.

Na Área Instável não foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área está parcialmente inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008. Como o PMRR avaliou apenas o bairro das Rocas, foi considerada parte desta área dentro do mapa de risco de 2008.

Mapa 24 – Localização da Área Instável no bairro da Ribeira



Fonte: Autoria própria (2018).

Na rua Miramar (coordenadas geográficas 5°46'40.08"S / 35°11'51.49"O) a álgebra de mapas indicou o local como Área Instável, pois possui residências instaladas em um terreno com declividade alta. Também foi possível verificar pequenas contenções físicas para nivelar o terreno.

Fotografia 21 – Rua Miramar (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na rua José Olinto Macedo (coordenadas geográficas 5°46'46.15"S / 35°11'56.81"O) a álgebra de mapas não indicou o local como Área Instável e sim com IRE médio (3), mas foi visitada por ter um histórico de movimentos de massa anteriores. A parte da área pertencente ao bairro das Rocas (acima da encosta) está inserida no mapa de risco do PMRR de 2008 e a parte da área pertencente ao bairro da Ribeira (base da encosta) não está inserida. Percebe-se que houve uma contenção física que caiu por ação de processos erosivos anteriores e também é visível a cobertura vegetal se recuperando. Possivelmente esta área foi fragilizada pelas intervenções antrópicas (ex.: terraplenagem da encosta) somadas a uma obra de contenção ineficiente (barreira).

Fotografia 22 – Rua José Olinto Macedo (F2)



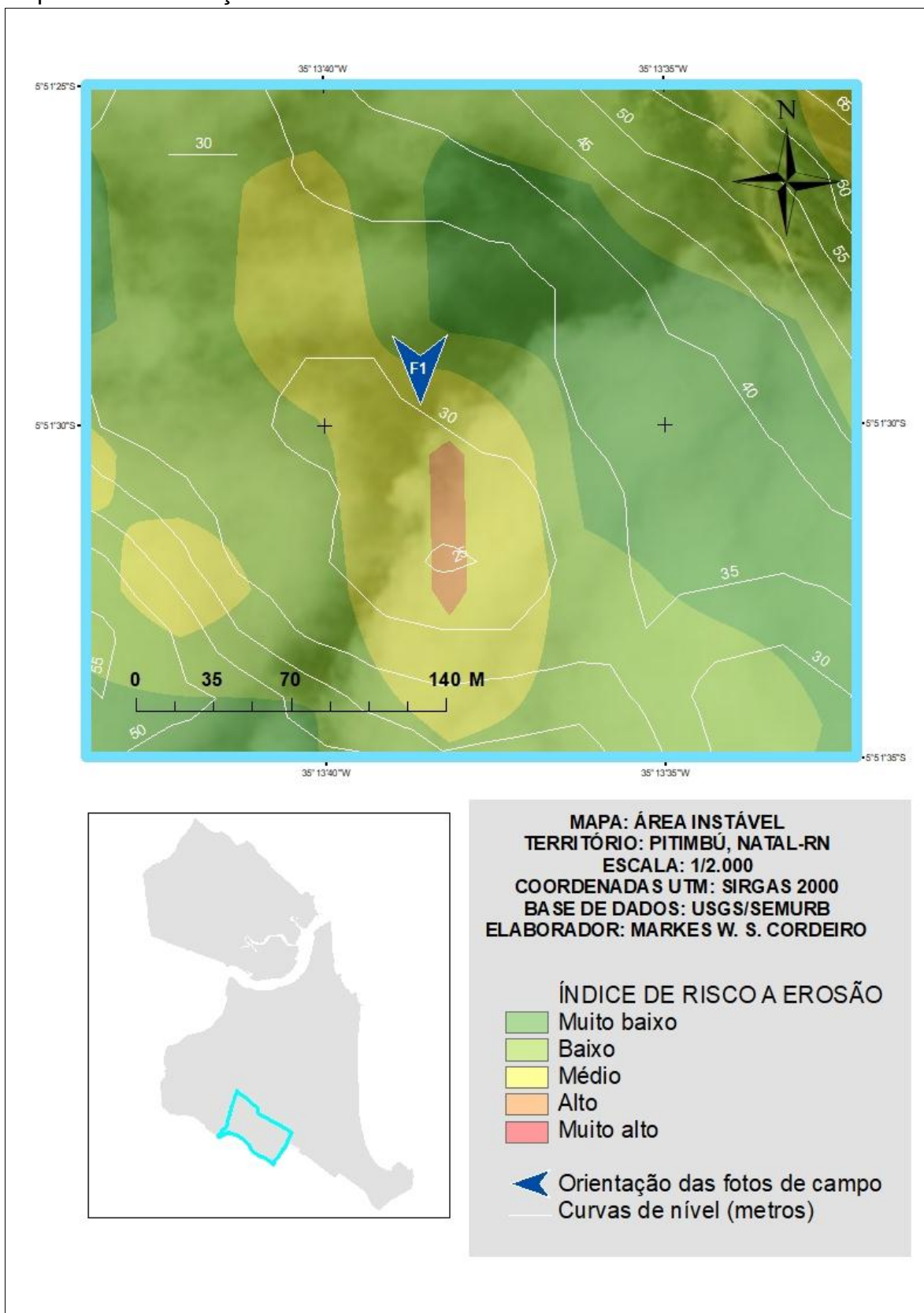
Fonte: Aatoria própria (2017).

4.2.8 Pitimbú

No dia 11 de dezembro de 2017 foi realizada uma visita de campo em 2 Áreas Instáveis no bairro Pitimbú.

Na Área Instável 1 foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 25 – Localização da Área Instável 1 no bairro do Pitimbú



Fonte: Autoria própria (2018).

Na avenida Antoine Sant' Exupéry (coordenadas geográficas 5°51'30.71"S / 35°13'37.42"O) percebe-se grande retirada de areia das dunas (atividade antrópica), contrastando com a cobertura vegetal com indícios de queimada.

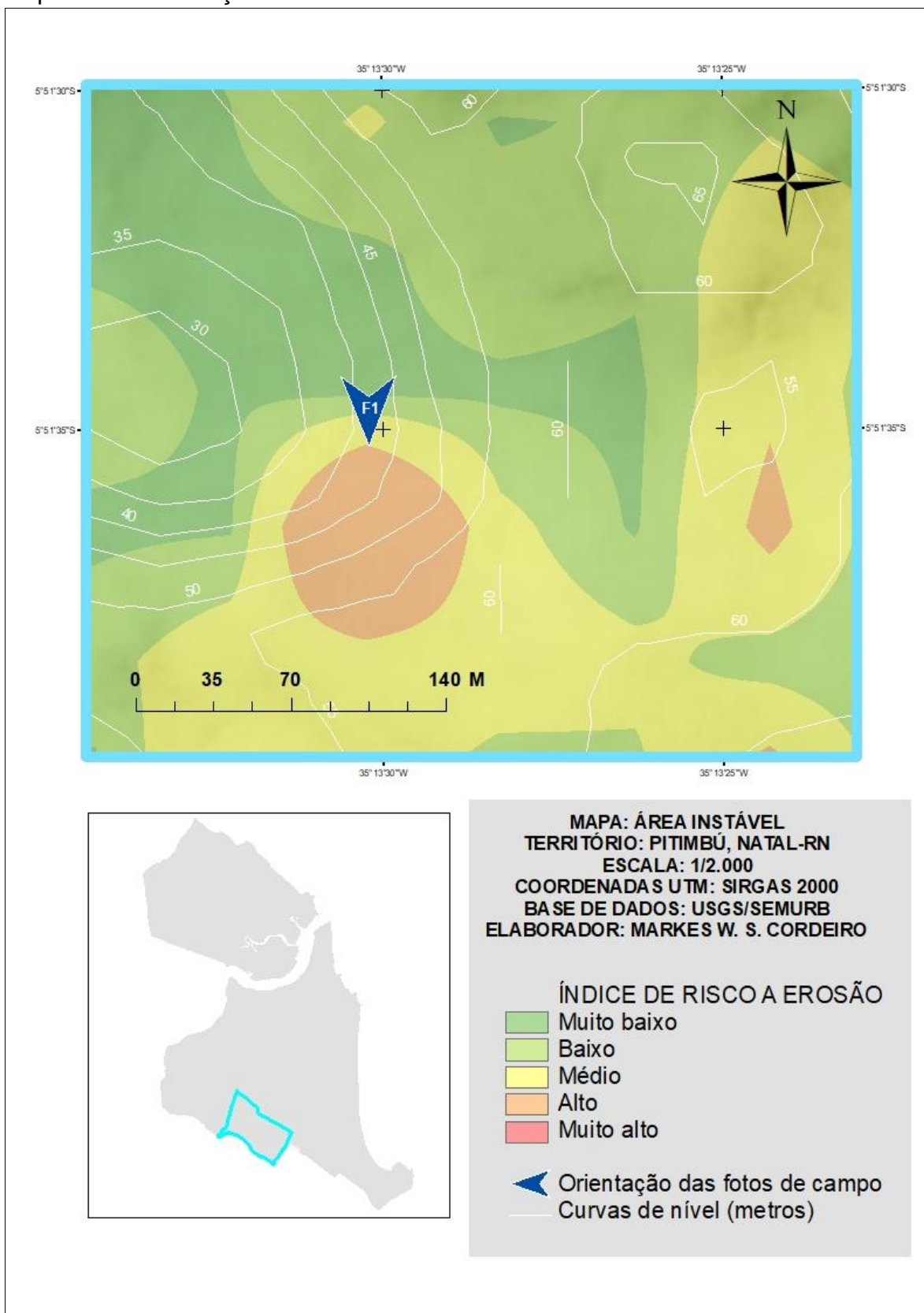
Fotografia 23 – Avenida Antoine Sant' Exupéry (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Área Instável 2 foram verificados indícios de processos erosivos atuantes. Esta área não está inserida no Mapa de Risco do PMRR de 2008.

Mapa 26 – Localização da Área Instável 2 no bairro do Pitimbú



Fonte: Autoria própria (2018).

Ainda na avenida Antoine Sant' Exupéry (coordenadas geográficas 5°51'35.53"S / 35°13'29.54"O) a álgebra de mapas indica a área como de risco possivelmente pela presença de residências no alto da encosta somada a uma declividade acentuada.

Fotografia 24 – Avenida Antoine Sant' Exupéry (F1)



Fonte: Autoria própria (2017).

4.3 GESTÃO DE RISCO

A gestão destas áreas instáveis deve ser considerada no planejamento urbano e ambiental da cidade. O Mapa de Risco a Erosão se apresenta como um instrumento norteador para tomada de decisão quanto a necessidade de gestão de risco das áreas identificadas pelo geoprocessamento.

Comumente, com o zoneamento de risco já é possível definir ações pertinentes da gestão dos riscos identificados (CARVALHO; GALVÃO, 2006).

Este zoneamento de risco pode ser acrescentado no Plano Diretor da cidade para incorporar a gestão de riscos no planejamento urbano, pois estas áreas de risco, ao serem apresentadas no Plano Diretor, podem influenciar significativamente a forma como a cidade cresce.

4.3.1 Zoneamento de risco

O Mapa de Risco a Erosão gerado pela álgebra dos mapas temáticos é dividido em áreas de 900m², aproximadamente, cada uma com um respectivo Índice de Risco a Erosão (IRE), pois a resolução usada para a confecção dos mapas possui precisão de 30 metros. Dessa forma, é possível estabelecer um zoneamento de risco a erosão no território estudado. Carvalho e Galvão (2006, p. 49) citam que [...] no zoneamento de risco são delimitados setores nos quais, em geral, encontram-se instaladas várias moradias. Desta forma, admite-se que todas as moradias do setor se encontram em um mesmo grau de risco.

O zoneamento dos setores de risco é um passo inicial importante para o planejamento da cidade e a gestão de riscos a desastres gerados pela erosão do solo, como movimentos de massa. Orientado por esses setores de risco, é possível realizar análises mais detalhadas, como o cadastramento de risco.

Este cadastramento de risco caberia ao poder público, principalmente por meio de técnicos da defesa civil, sendo constituído em caracterizar o risco, elemento por elemento, e visitar cada moradia para obter informações pertinentes a esta avaliação (SANTOS, 2007).

O cadastramento de risco deve ser norteado pelo zoneamento, representado por este trabalho pelo Mapa de Risco a Erosão. A partir desses cadastros pode ser possível identificar o risco aos diferentes tipos de desastres naturais por movimento de massa (ex.: se os processos erosivos na área provocariam deslizamento ou queda de barreira), assim como avaliar fatores pertinentes à gestão de risco: vulnerabilidade social, potencial de dano ao patrimônio e capacidade de resposta da defesa civil.

4.3.2 Aplicação do IRE

O índice elaborado (IRE) pode ser considerado como um valor numérico que representa a correta interpretação da realidade (SICHE, 2007, p. 139). Contudo, deve-se entender suas limitações.

As verificações feitas nas visitas de campo podem aferir que a eficiência do IRE depende da precisão de seus indicadores, sendo esses representados pelos mapas temáticos. Os dados utilizados para a confecção dos mapas desse trabalho

possuem uma precisão plausível (resolução espacial de 30m) para a escala adotada (1:100.000), mas para aplicar o IRE em escalas menores (ex.: bairro) é interessante que os indicadores (arquivos matriciais) possuam uma resolução espacial melhor (ex.: até 10m). Em relação à aplicação do IRE em escalas menores, também podem ser necessários outros indicadores mais específicos, como mapa geotécnico para, por exemplo, identificar o perfil de encostas.

O Mapa de Risco a Erosão, gerado a partir do IRE, nesse trabalho pode ser usado como um zoneamento de risco a erosão para se iniciar o planejamento de risco, mas não deve substituir análises de campo, como o cadastramento de risco, pois o IRE pode identificar a possibilidade de erosão do solo (dinâmica natural) e não o tipo de desastre natural especificamente (ex.: deslizamento, queda de barreira, entre outros movimentos de massa). Entender o tipo de desastre natural provocado por erosão pode ser importante para definir quais as intervenções pertinentes na área.

Nesse contexto do zoneamento de risco, o Mapa de Risco a Erosão pode ser incluído no Plano Diretor de Natal como um instrumento norteador para a gestão urbana e ambiental do município.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos revelam que as áreas instáveis (áreas de risco) à erosão constituem uma parcela significativa do município. O zoneamento de risco é um passo inicial importante para o planejamento urbano e a gestão de riscos do município, pois identifica as áreas instáveis com maior potencial de desastres naturais por movimentos de massa ao se utilizar o IRE como indicador de prioridade.

A teoria da ecodinâmica foi essencial para entender que antes de analisar um possível desastre natural (ex.: deslizamento de terra) deve-se avaliar primeiro as dinâmicas naturais que o originam (ex.: processos erosivos), considerando o meio ambiente como um sistema integrado.

Os dados usados (mapas temáticos) para obtenção do IRE mostraram que a cidade deve proteger melhor sua cobertura vegetal e administrar o crescimento urbano em áreas com declividade alta. Dessa forma, um planejamento baseado na sustentabilidade urbana pode viabilizar uma gestão de risco preventiva e eficiente ao equilibrar a cidade ao meio ambiente no qual está inserida. Nesse caso, as chuvas atuam não como um fator de risco em si, mas como um evento que desencadeia os desastres naturais nas áreas de risco, principalmente em áreas com IRE elevado. Logo, o período chuvoso em Natal, compreendido entre os meses de março e setembro, deve ser entendido pelo poder público como um estado de alerta nessas áreas de maior IRE.

Destaca-se que o IRE representa uma probabilidade. Mesmo que tais valores tenham sido obtidos por métodos reconhecidos e cálculos realizados por *software* de SIG, o produto final ainda sim é um indicador estatístico.

As visitas de campo foram importantes para comparar os resultados obtidos pela avaliação de risco adotada e a realidade das áreas consideradas de risco, assim como para ratificar o método e comprovar sua eficácia. Por mais que a erosão costeira não tenha sido avaliada, haja vista que o método aplicado não considera a dinâmica das ondas do mar, pode ainda assim constatar alguns processos erosivos atuando nos locais classificados como áreas de risco. A maioria das áreas visitadas não estava inserida no PMRR do Natal, mas apresentavam IRE muito similar às áreas incluídas no mapa de risco de 2008.

Com a avaliação adotada pode-se considerar que as Áreas de Risco representam 5,36% do território do Município do Natal. Este percentual parece

baixo, mas significa que mais de 8 km² do território estão em risco de desastres naturais desencadeados pelos processos erosivos.

Este trabalho pode concluir que o método de avaliação desenvolvido (IRE) é uma ferramenta eficiente, dentro da escala estudada (1:100.000), e de fácil acesso para posteriores atualizações, podendo ser útil nas tomadas de decisão da Prefeitura Municipal do Natal no tocante ao planejamento urbano, gestão ambiental e prevenção de riscos a erosão.

A partir do Mapa de Risco a Erosão é possível mapear as áreas de risco a erosão no município, inclusive possibilitando traçar metas e prioridades para se aplicar um cadastramento de risco, identificando não apenas o risco físico de desastres naturais provocados por erosão do solo (ex.: deslizamentos, quedas de barreiras, entre outros), mas também avaliar a vulnerabilidade social e econômica das comunidades nestas áreas de risco.

REFERÊNCIAS

ANDERSSON-SKÖLD, Y. et al. Landslide risk management - a brief overview and example from Sweden of current situation and climate change. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Amsterdam: Elsevier, v. 3, p. 44-61, mar. 2013.

AYALA, I.A. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, Amsterdam: Elsevier, n. 47, p. 107-124., out. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 20 jan. 2017.

_____. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto das Cidades. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 de junho de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 14 jun. 2017.

_____. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 14 jun. 2017.

_____. Confederação Federal dos Municípios. Observatório dos Desastres Naturais. **Prejuízos causados por desastres naturais - 2012 a 2015**. Brasília: [s.n.], 2016. Disponível em: <[http://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres%20naturais%20-%202012%20a%202015%20\(2016\).pdf](http://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres%20naturais%20-%202012%20a%202015%20(2016).pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2017.

BONAIUTO, M. et al. Place attachment and natural hazard risk: research review and agenda. **Journal of Environmental Psychology**, Amsterdam: Elsevier, v. 48, p. 33-53, dez. 2016.

BOUGHEDIR, S. Case study: disaster risk management and climate change adaptation in Greater Algiers: overview on a study assessing urban vulnerabilities to disaster risk and proposing measures for adaptation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam: Elsevier , v. 13, p. 103-108, abr. 2015.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas**: guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.

CANUTI, P. et al. Hydrogeological hazard and risk in archaeological sites: some case studies in Italy. **Journal of Cultural Heritage**, Amsterdam: Elsevier, v. 1, p. 117-125, jun. 2000.

CHUNYE, W.; DELU, P. Zoning of Hangzhou Bay ecological red line using GIS-based multi-criteria decision analysis. **Ocean & Coastal Management**, Amsterdam: Elsevier, v. 139, p. 42-50, abr. 2017.

DATTILO, G.; SPEZZANO, G. Simulation of a cellular landslide model with CAMELOT on high performance computers. **Parallel Computing**, Amsterdam: Elsevier, v. 29, p. 1403-1418, out. 2003.

DI, B. F. et al. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China. **International Journal of Sediment Research**, Amsterdam: Elsevier, v. 23, p. 138-148, jun. 2008.

DI, B. et al. Quantifying the spatial distribution of soil mass wasting processes after the 2008 earthquake in Wenchuan, China: a case study of the Longmenshan area. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam: Elsevier, v. 114, p. 761-771, abr. 2010.

FALCONER, L. et al. GIS technologies for sustainable aquaculture. **Comprehensive Geographic Information Systems**, Amsterdam: Elsevier, p. 290-314, jul. 2017.

FILHO, B. S. S., CARMO, V. A. do; NOGUEIRA, W. J. Metodologia de elaboração da carta do potencial erosivo da bacia do Rio das Velhas (MG). **GEONOMOS**, Minas Gerais: Instituto de Geociências, v. 6, p. 45-54, 1998.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GAO, J.; SANG, Y. Identification and estimation of landslide-debris flow disaster risk in primary and middle school campuses in a mountainous area of Southwest China. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Amsterdam: Elsevier, v. 25, p. 60-71, out. 2017.

GETZNER, M. et al. Gravitational natural hazards: valuing the protective function of alpine forests. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam: Elsevier, v. 80, p. 150-159, jul. 2017.

GÓMEZ, H.; KAVZOGLU, T. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. **Engineering Geology**, Amsterdam: Elsevier, v. 78, p. 11-27, abr. 2005.

GOMES, R. L. Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Almada-Bahia. **Boletim de Geografia**, Maringá: Departamento de Geografia, v. 31, n. 3, p. 41-53, dez. 2013.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, Circular 1325, 2008. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf>. Acesso em: 14 de jan. 2017.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE. **Perfil do seu município**, Natal, 2013. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000016677.PDF>>. Acesso em: 14 de jan. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 1 de dez. 2017.

INOUYR, C. E. N.; et al. Modelling the spatial dynamics of urban growth and land use changes in the north coast of São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, Amsterdam: Elsevier, v. 108, p. 147-157, mai. 2015.

JACOBI, P. Dilemas socioambientais na gestão metropolitana: do risco à busca da sustentabilidade urbana. **Revista de Ciências Sociais - Política & Trabalho**, João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, n. 25, p. 115-134, out. 2006.

LISTO, F. de L. R. **Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas da Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia. São Paulo, 2011.

_____; VIEIRA, B. C. V. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, Amsterdam: Elsevier, v. 169-170, p. 30-44, out. 2012.

MACEDO, Y. M. et al. Vulnerabilidade socioambiental em escala de detalhe: o caso de Mãe Luiza, Natal, RN, Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, v. 6, n. 2, p. 145-157, nov. 2015.

MAHENDRA, R. S. et al. Assessment and management of coastal multi-hazard vulnerability along the Cuddalore–Villupuram, east coast of India using geospatial techniques. **Ocean & Coastal Management**, Amsterdam: Elsevier, v. 54, p. 302-311, abr. 2011.

MODEIRA, M. M. et al. Carta geotécnica do município de Natal-RN: áreas de risco de deslizamentos e inundações. In: COBRAMSEG, 17, 2014, Goiania, Brasil. **Anais eletrônicos ...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/11.05.21.25/doc/4545_80_2_Carta_Geotecnica_do_Municipio_de_Natal_RN.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2017.

NATAL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Plano municipal de redução de riscos do município do Natal**. Natal: [s.n.], 2008. Disponível em: <<https://natal.rn.gov.br/semurb/paginas/ctd-102.html>>. Acesso em: 10 set. 2016.

_____. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Anuário de Natal 2016**. Natal: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.natal.rn.gov.br/semurb/planodiretor/paginas/menu/aba5/pagina1.php>>. Acesso em: 29 set. 2017.

_____. Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social. **Relatório de ocorrências da Defesa Civil**. Natal: [s.n.], 2017.

NGUYEN, H.; TYLER, S.; TONG, T. M. T. Co-management model on urban riverbank erosion management in Can Tho city, Vietnam. **Science and Technology in Disaster Risk Reduction in Asia**, Cambridge: Academic Press, p. 161-173, out. 2017.

NICOLODI, J. PETERMANN, R. M. Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, [S.l.: s.n.], v. 10, p. 151-177, jun. 2010.

OTHMAN, A. N. et al. GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam: Elsevier, v. 35, p. 595-602, abr. 2012.

PRAWIRANEGARA. M. Spatial Multi-criteria Analysis (SMCA) for Basin-wide flood risk assessment as a tool in improving spatial planning and urban resilience policy making: a case study of Marikina River Basin, Metro Manila – Philippines. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam: Elsevier, v. 135, p. 18-24, ago. 2014.

RAMALHO, M. F. de J. L. Considerações sobre risco de erosão na área urbana da Grande Natal/ RN – BRASIL. **Territorium**, Coimbra: Universidade de Coimbra, n. 17, p. 161-168, mar. 2010.

_____; FERNANDES, E.; SOUSA, M. P. de. Riscos de erosão nas dunas de Natal/RN. **Boletim de Geografia**, Maringá: Departamento de Geografia, v. 29, n. 2, p. 33-47, 2011.

RIO GRANDE DO NORTE. Ministério Público Estadual. **Desastre de Mãe Luiza: conclusões do Ministério Público e encaminhamentos**. Natal: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.mprn.mp.br/portal/inicio/meio-ambiente/meio-ambiente->

noticias/7484-mprn-ingressa-com-acao-contra-prefeitura-de-natal-e-caern-por-desastre-em-mae-luiza>. Acesso em: 20 out. 2017.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCHUSP, n. 6, São Paulo, 1992.

RUMSON, A. G.; HALLETT, S. H.; BREWER, T. R. Coastal risk adaptation: the potential role of accessible geospatial Big Data. **Marine Policy**, Amsterdam: Elsevier, v. 83, p. 100-110, set. 2017.

SANTOS, R. F. dos. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

SATTA, A. et al. Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: the case of the Mediterranean region. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Amsterdam: Elsevier, v. 24, p. 284-296, set. 2017.

SICHE, R. et al. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão de sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, Campinas: [s.n.], v. 10, p. 137-148, dez. 2007.

SILVA, E. E. S. et al. Mapeamento de risco geomorfológico na comunidade do Jacó - Rocas - Natal, RN. **Revista GEONORTE**, [S.l.]: Universidade Federal do Amazonas, edição especial 4, v.10, n.1, p.170-176, 2014.

SILVA, E. E. S.; ALMEIDA, L. Q.; MACEDO, Y. M. Uso de metodologia analítica para mapeamento de exposição ao risco de deslizamento na comunidade de São José do Jacó Natal – RN. **REGNE**, Penedo: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. v. 01. n. 2, p. 1-16, 2015.

SOUISA, M.; HENDRAJAYA, L.; HANDAYANI, G. Landslide hazard and risk assessment for Ambon city using landslide inventory and geographic information system. **Journal of Physics: Conference Series**, Bristol: IOP Publishing , v. 739, n. 1, p. 1-12, 2016.

SOUZA, W. M. de. **Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE**. 2011. 140f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP, Espaço e Tempo**, São Paulo: Universidade de São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.

TRAN, P.; SHAW, R. Towards an integrated approach of disaster and environment management: a case study of Thua Thien Hue province, central Viet Nam. **Environmental Hazards**, Amsterdam: Elsevier , v. 7, p. 271-282, mai. 2007.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológicos, 2009.

VEIGA, J. E. da. **Sustentabilidade**: a legitimação de um novo valor. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2010.

VENTURI, L. A. B. Recurso natural: a construção de um conceito. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo: Universidade de São Paulo, n. 20, p. 9-17, 2006.

ZHOU, H. Y.; PAN, X. Y.; ZHOU, W. Z. Assessing spatial distribution of soil erosion in a karst region in southwestern China: a case study in Jinpo Mountains. **Earth and Environmental Science**, Bristol: IOP Publishing, v. 52, p. 1-7, 2017.

ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO

www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/author

Apps DOWNLOADS




CAPA | SOBRE | PÁGINA DO USUÁRIO | PESQUISA | ATUAL | ANTERIORES | NOTÍCIAS | PORTAL DE PERIÓDICOS
UNISUL | CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

Capa > Usuário > Autor > Submissões Ativas

Submissões Ativas

ATIVO | ARQUIVO

| ID | MM-DD ENVIADO | SEÇÃO | AUTORES | TÍTULO | SITUAÇÃO |
|------|---------------|-------|---------------------------|--|-----------------------|
| 5940 | 02-02 | ART | Cordeiro, Cavalcanti Neto | RISCOS A DESASTRES NATURAIS POR DESLIZAMENTO DE TERRA... | Aguardando designação |

Iniciar nova submissão
CLIQUE AQUI para iniciar os cinco passos do processo de submissão.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis. Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, ISSN 2238-8753
Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional.



Ajuda do sistema

Usuário
Logado como: markeswales

- Meus periódicos
- Perfil
- Sair do sistema

Autor

Submissões

- Ativo (1)
- Arquivo (0)
- Nova submissão

Conteúdo da revista

Pesquisa

Escopo da Busca
Todos

Pesquisar

ANEXO B – OFÍCIO N° 105/2017-DIAREN/IFRN ENVIADO A SEMDES



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE
 DIRETORIA ACADÊMICA DE RECURSOS NATURAIS
 Av. Sen. Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal/RN - CEP 59015-000
 http://www.ifrn.edu.br/ – Fone (84) 4005-9949

OFÍCIO 105/2017 – DIAREN

Natal/RN, 05 de outubro 2017.

Da: Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais

A: Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social (SEMDES)

Assunto: Informações da Defesa Civil municipal

Prezado Sr. Secretário Municipal de Segurança Pública e Defesa Social

Vimos por meio deste, solicitar informações da Defesa Civil municipal sobre desastres naturais, relacionados a *deslizamentos, queda de barreira e erosão*, ocorridos na cidade (datas de ocorrência, tipos de desastres, registros de danos, etc.), visando subsidiar a pesquisa do mestrando para o aluno Markes Walles Silva Cordeiro do Programa de Pós-graduação de Uso Sustentável de Recursos Naturais.

Sem mais para o momento, subscrevemo-nos.

Atenciosamente,

João Batista Monteiro de Sousa
 Matrícula 277240
 Diretor Acadêmico de Recursos Naturais
 Portaria: 1203/2013

213412017

PROTÓCOLO - SEMDES

Recebido em: 09/10/17

servidor: [assinatura]

número do: 113611



REDE FEDERAL
 DE EDUCAÇÃO
 PROFISSIONAL
 E TECNOLÓGICA

ANEXO C – OFÍCIO N° 54/2017-DIAREN/IFRN ENVIADO A SEMURB



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE
DIRETORIA ACADÊMICA DE RECURSOS NATURAIS
 Av. Sen. Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal/RN CEP 59015-000
 http://www.ifrn.edu.br/ – Fone (84) 4005-9949

OFÍCIO 54/2016 – DIAREN

Natal/RN, 28 de dezembro 2016.

Da: Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais

À: SEMURB – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo do NATAL-RN

Assunto: Dados sobre o Plano Municipal de Redução de Riscos

Prezado Sr. Secretário Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo,

Vimos por meio deste, solicitar dados técnicos relacionados ao Plano Municipal de Redução de Riscos de Natal, visando subsidiar a pesquisa do mestrando Markes Walles Silva Cordeiro, do Programa de Pós-graduação de Uso Sustentável de Recursos Naturais, da Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais do Campus Natal Central. Esperamos que as produções acadêmicas deste mestrado possam colaborar com os trabalhos da Prefeitura Municipal do Natal.

Sem mais para o momento, subscrevemo-nos.

Atenciosamente,

Alexandre Lúcio Dantas
 Diretor Acadêmico-DIAREN/CNAT
 Substituto Eventual
 Portaria n° 194/2016

Recebido em 10/02/17
 Hora: 15:21 hs
 Mat. _____ Ass: Luiz Lima
 SEMURB/GABINETE



REDE FEDERAL
 DE EDUCAÇÃO
 PROFISSIONAL
 E TECNOLÓGICA