



## Análises hierárquica e de regressão linear aplicadas aos mapeamentos de suscetibilidade e de risco aos movimentos de massa (Bairro Cidade Nova, Aracaju – SE, Brasil)

*Hierarchical and linear regression analyses applied to the mapping of susceptibility and risk of mass movements (Cidade Nova neighborhood, Aracaju - SE, Brazil)*

Luisa Sampaio Franco<sup>1</sup> , Felipe Torres Figueiredo<sup>1</sup> ,  
Pedro Victor Oliveira Gomes<sup>1</sup> , Igor Batista Andrade Araújo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe - UFS, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão, SE, BR (luisa.sampaiofranco@gmail.com; ftfigueiredo@academico.ufs.br; gomes.pvoliveira@gmail.com)

<sup>2</sup>UFS, São Cristóvão, SE, BR (igorbatistaaa@gmail.com)

Recebido em 1º de abril de 2021; aceito em 22 de julho de 2021.

### Resumo

O município de Aracaju, capital de Sergipe, tem em sua paisagem periférica, na região norte, a preservação de tabuleiros costeiros com elevações de até 100 m e inclinações do terreno superiores a 30°, naturalmente favoráveis à ocorrência de movimentos de massa. Nos anos de 2000 a 2010, essa região, especificamente o Bairro Cidade Nova, área do presente estudo, sofreu com a intensificação da abertura de cortes em taludes para construção de moradias, o que tem acarretado eventos discretos de movimentos de massa, com prejuízos materiais, e colocado pessoas em risco de morte no período chuvoso. Como forma de contribuir para a redução desse risco, que vem sendo monitorado de forma qualitativa e de pouco detalhe, foi proposto no presente trabalho o mapeamento semiquantitativo. Foram adotados como métodos o Processo de Análise Hierárquica e a regressão linear, com o objetivo de realizar o mapeamento de suscetibilidade e de risco em escala de detalhe. Com a ponderação dos parâmetros em *software* GIS, a fotointerpretação de imagens de satélite e imagens aéreas oblíquas, obteve-se que 3,08% do terreno está em condição de muita alta suscetibilidade a movimento de massa e que 356 moradias se encontram em situação de risco, necessitando do mapeamento em escala de detalhe casa a casa. Após aplicação do método processo de análise hierárquica (em inglês: *analytic hierarchy process* — AHP), o mapeamento de campo revelou 43 setores de risco, com aumento de 80% no número de setores sob risco alto e de 75% no número de setores de risco muito alto, comparado aos mapeamentos anteriores da Defesa Civil Municipal de Aracaju e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Apesar disso, houve redução de 61,6% de pessoas em risco muito alto e 57% em risco alto, o que demonstra a relevância do método.

**Palavras-chave:** Áreas de risco; estado de Sergipe; Risco geológico; Mapeamento de risco; Método processo de análise hierárquica; Regressão linear.

### Abstract

The municipality of Aracaju, capital of Sergipe, preserves on its peripheral landscape, at the northern region, coastal tablelands with elevations of up to 100 m above sea level, and land slopes above 30°, naturally favorable to the occurrence of gravitational mass movements. In the years 2000 to 2010, the region, specifically the Cidade Nova Neighborhood, the area of the present study, suffered the intensification of slope cuts for housing construction, which has resulted in discrete events of landslides, with material losses, leaving residents at risk of death in the rainy season. As a way of contributing to the reduction of geological risk, which has been monitored in a qualitative way, under a minor detail scale, a semi-quantitative mapping was proposed in the present work. The analytic hierarchy process (AHP) and linear regression methods were adopted with the aim of mapping both susceptibility and geological risk in a detailed scale. The combination of weighted parameters in a GIS software, with photointerpretation of satellite images and oblique aerial images, showed that 3.08% of the land cover is under very high susceptibility to mass movements, comprising 356 houses under a landslide risk, which required a detailed house-to-house scale mapping. Fieldwork and the use of AHP method allowed the identification of

43 risk sectors, a gain of 80% in the number of sectors at high risk and 75% in the number of very high risk sectors, compared to previous mappings by the Municipal Civil Defense of Aracaju and CPRM. Despite that, it was registered a reduction of 61,6% of people at very high risk and 57% at high risk, demonstrating the importance of the method.

**Keywords:** Risk areas; Sergipe state; Geological risk; Risk management; Analytic hierarchy process method; Linear regression.

## INTRODUÇÃO

A correlação entre eventos de movimentos de massa com desastres naturais está vinculada à alta taxa de pluviosidade em áreas com topografia acidentada (Tatizana et al., 1987a; Santoro et al., 2010), que, quando combinada à presença de moradias, pode configurar situação de risco geológico a movimentos de massa (e.g. Tominaga et al., 2009). No Brasil, esse tipo de risco, apesar de evidente desde os eventos de movimentos de massa em Caraguatubá (SP), na década de 1970, e em Santos (SP), na década de 1980 (e.g. Tatizana et al., 1987b), despertou maior preocupação por parte da comunidade geológica ao longo dos anos 1990 e do início dos anos 2000, que passou a elaborar e aplicar metodologias próprias e instrumentos de mapeamento adequados a cada realidade estudada (Cerri, 1993; Zuquette, 1993; Augusto Filho, 1994, 2001; Alheiros, 1998; Canil, 2000; Macedo, 2000; Nogueira, 2002).

Como medida preventiva e mitigatória desses riscos geológicos, o Ministério das Cidades elaborou, em conjunto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo, um manual de avaliação e mapeamento de riscos de movimentos de massa, enchentes e inundações (Carvalho et al., 2007), que vem sendo aplicado especialmente às áreas periféricas das grandes cidades brasileiras. Apesar de visualmente prática, tal metodologia retrata um tipo de mapeamento descritivo, ou seja, qualitativo, caracterizado por uma abordagem de alta subjetividade, que necessita de maior experiência do profissional para estimar o real potencial de risco na área estudada (Guzzetti et al., 1999; Barredo et al., 2000; Faria, 2011). Como forma de diminuir essa subjetividade, alguns trabalhos foram propostos com a utilização de análises estatísticas para melhoria dos sistemas de avaliação e mapeamento de riscos, como o Projeto Gides-JICA, uma parceria firmada em 2013 entre a Japan International Cooperation Agency (JICA) e a Agência Brasileira de Cooperação (ABC). Em Faria (2011) e Faria et al. (2016), foi proposta a utilização do Processo de Análise Hierárquica (em inglês: *Analytic Hierarchy Process* – AHP), originalmente formalizado em Saaty (1987), associado ao método de Carvalho et al. (2007), a fim de definir o potencial de perigo e risco ao movimento de massa. A utilização do método AHP fornece aos trabalhos uma análise híbrida dos métodos, seguindo a proposta de auxiliar as tomadas

de decisão por meio de um conjunto de critérios ponderados, fornecendo uma análise mais eficaz e racional (Faria et al., 2016).

No caso específico do município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, a cultura de prevenção e de mapeamento de áreas de risco geológico é muito recente e espaçada no tempo, com registros em escala municipal nos anos de 2013, 2017 e 2019, realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e pela Defesa Civil do município, ambos adotando a metodologia qualitativa de Carvalho et al. (2007). Em parte, a escassez de trabalhos se deve à pouca documentação de ocorrências de movimentos de massa ao longo dos anos e às condições topográficas gerais menos acentuadas. Contudo, alguns bairros da região norte do município, concentram gradientes topográficos maiores, em torno de 100 m, e inclinações do terreno alcançando 45°. Devido à baixa taxa de ocupação iniciada nos anos 1970, pouca atenção era dispensada para essa área mais antiga e de menor valor imobiliário, que, com a pressão especulativa de corporações, foi gradualmente se tornando desordenada e com moradias adensadas sobre os tabuleiros costeiros e suas vertentes (Ribeiro, 1985). Com isso, durante os anos 1980, 1990 e 2000 esse crescimento desordenado proporcionou novas condições para o surgimento do risco geológico, pouco debatido no município, mas amplamente difundido em estudos de outras regiões brasileiras (Araújo e Vilar, 2004; Mendes et al., 2018a, 2018b; König et al., 2019; Avila et al., 2020; Silva et al., 2020). Desde então, eventos adversos com acidentes e perdas materiais persistiram, principalmente nessa área da cidade, muito pela interferência humana, a despeito de estar inserida como uma área de preservação no plano diretor de desenvolvimento urbano (Aracaju, 2000; Araújo e Vilar, 2004).

O cenário exposto revela o pouco conhecimento sobre os riscos geológicos da cidade, que começou a aparecer na forma de trabalhos em alguns bairros da zona norte, no final da década de 2010 (Fraga, 2018; Jesus, 2018; Araújo, 2019; Costa, 2019). No sentido de contribuir para a disseminação do conhecimento de riscos geológicos bem como para a prevenção de desastres e, principalmente, para avançar com a discussão da subjetividade, o presente trabalho testou o uso da análise de risco por meio do método AHP, adaptada com a utilização do método de regressão linear, e o comparou com produtos de mapeamento de risco anteriores realizados no município. A área de estudo escolhida foi o Bairro Cidade Nova, localizado na zona norte do município

de Aracaju, obtendo como principal produto a análise de dados adquiridos a partir de aeronave remotamente pilotada, do mapeamento casa a casa e do método AHP, entre os anos de 2019 e 2021. A partir deles foi possível quantificar moradias e pessoas em risco, demonstrando a eficácia do método aplicado em escala de detalhe, em relação aos métodos de mapeamento anteriores realizados pela Defesa Civil e pela CPRM.

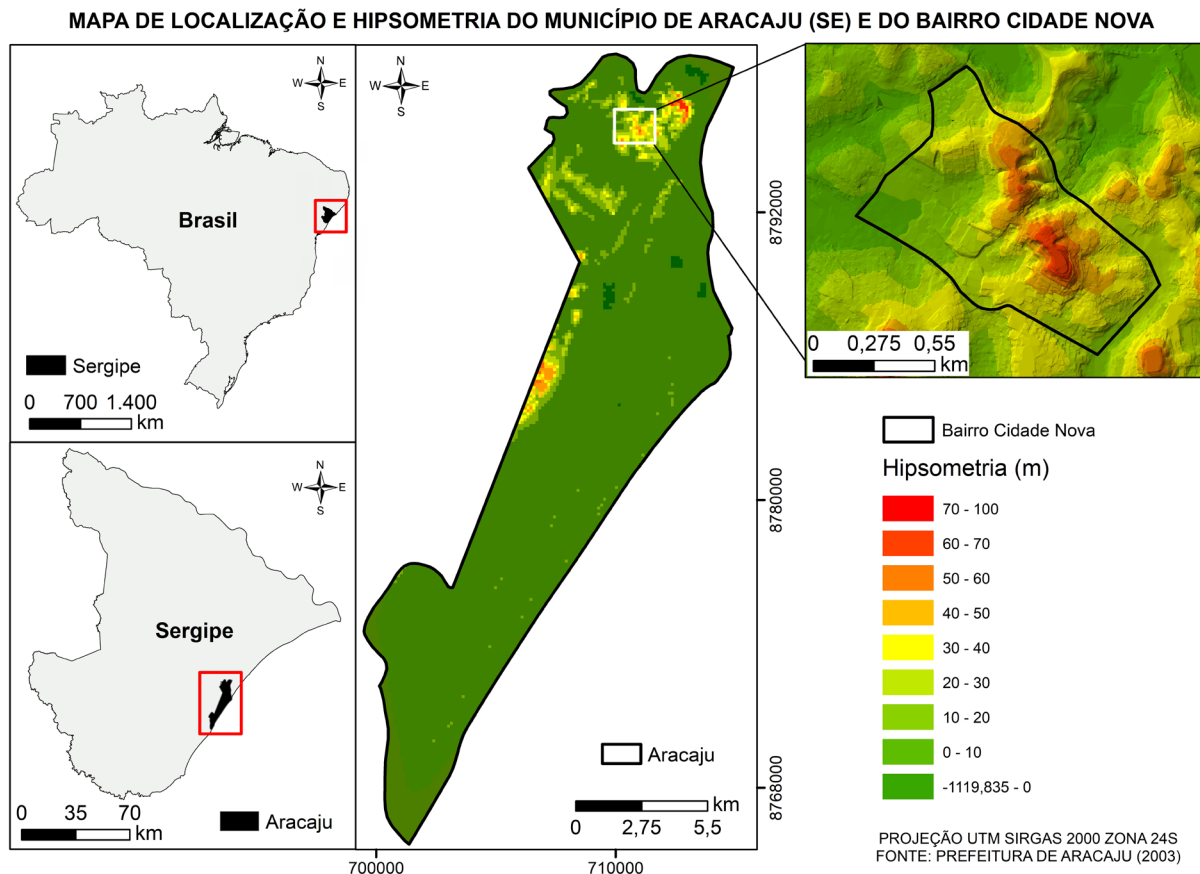
### CONTEXTO DA ÁREA DE ESTUDO

O meio físico do município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, é caracterizado por relevo pouco acidentado, tendo, em média, 4,9 m de elevação em relação ao nível do mar. Apesar da baixa amplitude do terreno, observam-se nas porções norte e oeste do município regiões com até 100 m de altitude e inclinações das vertentes de até 45°, representando as regiões de maiores susceptibilidades ao movimento de massa do município.

Localizado na região norte de Aracaju, o Bairro Cidade Nova compreende a região de estudo do presente trabalho. Com 821.453 m<sup>2</sup> de área, é caracterizado por relevo de até 70 m de elevação em relação ao nível do mar (Figura 1), com inclinações das encostas alcançando 44°.

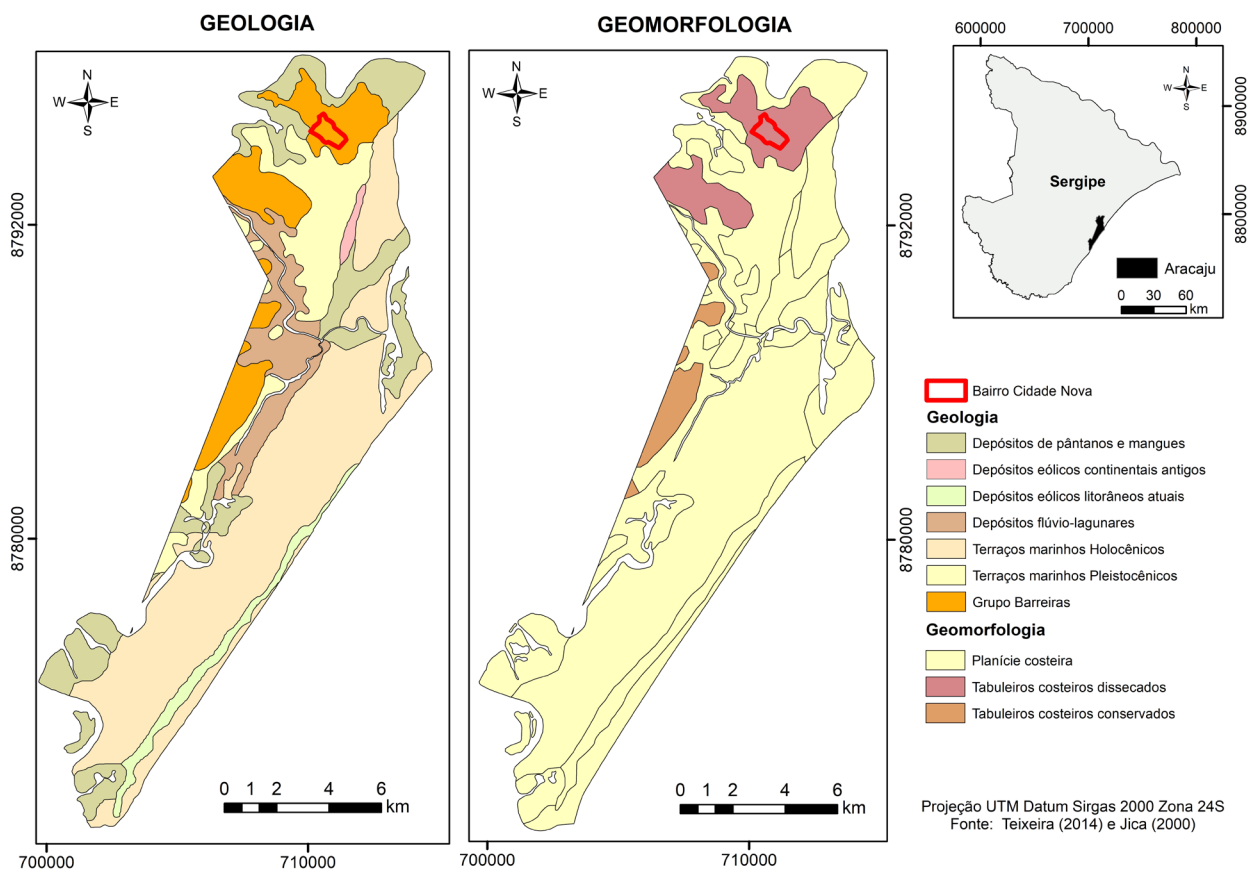
O Bairro Cidade Nova faz parte dos Tabuleiros Costeiros (Teixeira, 2014), representados pela forma de relevos tabulares dissecados, esculpidos em rochas sedimentares por uma rede de canais, resultando em colinas com vertentes íngremes, com vales incisos e planícies restritas. A geologia do bairro compreende sedimentos de idade pliocênica do Grupo Barreiras, caracterizados, em maior ocorrência, por agregados de partículas clásticas de granulação areia fina, com incipiente grau de compactação, ocorrendo sob a forma de colinas dissecadas com topos convexos e retílineos (Teixeira, 2014). Matações e blocos de conglomerados de matriz ferruginosa e muito coesos são menos frequentes, mas são observados na área, principalmente ao longo das cristas dos morros (Figura 2).

Em virtude das características geomorfológicas e geológicas bem como do alto adensamento populacional, é notável a



Fonte: adaptado da base de dados da Prefeitura de Aracaju.

**Figura 1.** Mapa de localização e hipsometria do município de Aracaju (SE), com o Bairro Cidade Nova em destaque.



Fonte: dados extraídos de Teixeira (2014) e de JICA (2000).

**Figura 2.** Mapa geológico e geomorfológico do município de Aracaju com bairro Cidade Nova, destacado em vermelho.

construção desordenada de habitações de baixo padrão construtivo ao longo das cristas e faces de morros, deixando, com frequência, expostos taludes de corte com ângulo de inclinação superior ao da encosta natural. Localmente são observadas em abundância outras características marcantes, como: descarte irregular de lixo e entulho sobre encostas e talvegues; esgotamento sanitário sobre encostas naturais; taludes de corte e aterro; e precariedade de sistemas de condução de águas pluviais. Esses fatores favorecem a situação adversa de “construção” do risco a movimentos de massa (Nogueira, 2002; Mendes et al., 2018a, 2018b; König et al., 2019; Avila et al., 2020; Silva et al., 2020), que pode evoluir para desastres quando a falta de informação e o descaso do poder público persistem.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa, foi adotada a combinação de métodos com abordagem heurística direta e indireta, organizados em três etapas:

- mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa;
- pré-setorização de risco;
- mapeamento de detalhe a risco de movimentos de massa (Figura 3).

### Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa

A avaliação de suscetibilidade a movimento de massa se iniciou por meio da aquisição das informações disponíveis acerca dos processos do meio físico da área de estudo, visando montar um banco de dados (Bitar, 2014). Tais informações foram concedidas pela Defesa Civil de Aracaju e compreendem: inventário das ocorrências de movimento de massa, dados topográficos em formato vetorial (curvas de nível e pontos cotados), dados hidrográficos e das delimitações dos bairros. O banco de dados foi montado dentro do sistema de informações geográfica (SIG), da ferramenta de texto *Word* e do banco de dados *Excel*.



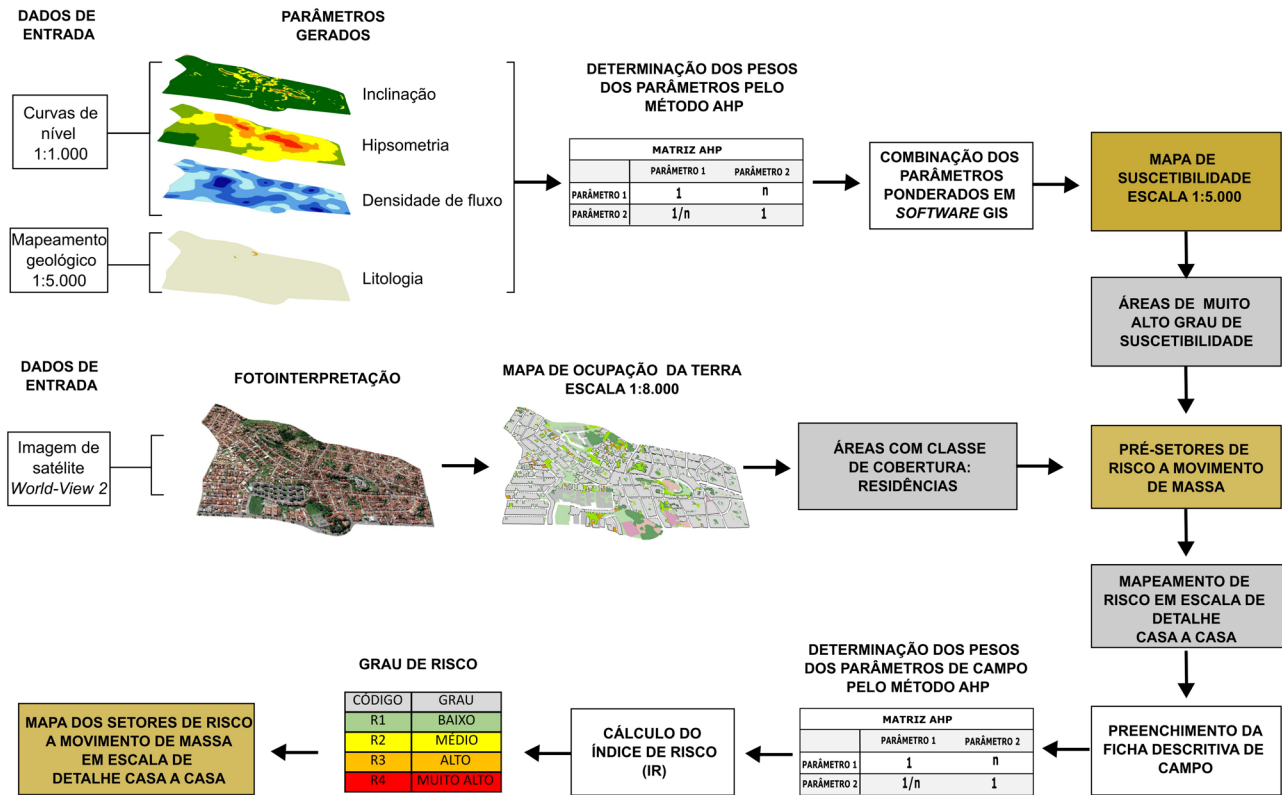


Figura 3. Fluxograma de aplicação do método.

De posse dos dados topográficos, seguiu-se à rotina proposta em Bitar (2014), definindo “produtos” a partir desses dados, tais como: modelo digital de elevação (MDE), mapas de inclinação e linhas de fluxo de drenagem.

Em função de a área total do bairro de estudo ser de 821.453 m<sup>2</sup>, optou-se por fazer o mapeamento da suscetibilidade na escala de detalhe (1:5.000). Este foi gerado com a utilização de dados em escala compatível, com resolução e qualidade adequadas. Por fim, foram adotados quatro parâmetros para sua construção, sendo eles: litologia, hipsometria, inclinação e densidade de fluxo, cada qual com suas respectivas classes (Tabela 1).

O parâmetro de litologia é considerado um dos principais fatores para a avaliação da suscetibilidade ao movimento de massa, já que a depender do substrato rochoso, pode-se gerar solos com diferentes texturas e diferentes comportamentos geotécnicos (Rozos et al., 2011). No caso específico do presente estudo, utilizou-se como base os dados contidos na publicação de Teixeira (2014) acerca do mapeamento geológico estado de Sergipe, disponível na escala 1:250.000. Contudo, devido à escala de detalhe do trabalho, fez-se necessária a realização do mapeamento geológico de superfície na escala de 1:5.000 na área de estudo.

Tabela 1. Parâmetros e as suas respectivas classes utilizadas para obtenção do mapa de suscetibilidade.

| Parâmetros                             | Classes                   |
|--|---------------------------|
| Inclinação (°)                         | (1) $I > 30$              |
|  | (2) $17 < I \leq 30$      |
|  | (3) $I \leq 17$           |
| Hipsometria (m)                        | (H1) $55 < H \leq 70$     |
|  | (H2) $40 < H \leq 55$     |
|  | (H3) $25 < H \leq 40$     |
|  | (H4) $10 < H \leq 25$     |
|  | (H5) $H \leq 10$          |
| Litologia                              | (L1) arenito fino siltoso |
|  | (L2) conglomerado         |
| Densidade de fluxo (km <sup>-1</sup> ) | (DF1) $DF > 30$           |
|  | (DF2) $20 < DF \leq 30$   |
|  | (DF3) $10 < DF \leq 20$   |
|  | (DF4) $DF \leq 10$        |

O mapeamento geológico do Bairro Cidade Nova foi realizado durante três campanhas de campo, nas quais foram individualizadas fácies aflorantes a partir de 28 pontos de controle. Estes foram descritos a partir de diferentes formas de exposição, entre cortes construtivos, sulcos naturais,

ravinas e cicatrizes de escorregamento. Em cada ponto foram considerados para análise de fácies (e.g. Miall, 1978, 1985) os aspectos texturais, granulométricos e mineralógicos de uma parte do terreno compatível com um processo individual de formação. O produto foi apresentado na forma de perfil vertical e fotomosaico, como proposto por Tucker (2003).

### Processo de análise hierárquica (analytic hierarchy process)

Definido por Saaty (1987), o Processo de Análise Hierárquica, conhecido como método AHP, auxilia na tomada de decisões e no estabelecimento de prioridades em problemas de multicritérios, tendo como finalidade minimizar a subjetividade de determinada análise. Esse processo foi aplicado neste trabalho de forma adaptada em relação à proposta do autor e serviu para auxiliar na análise e ponderação dos parâmetros mais relevantes que podem condicionar a ocorrência de movimentos de massa nas encostas da área de estudo. A ponderação foi realizada por meio de matrizes de comparações paritárias, que servem para confrontar cada fator resultante e atribuir um valor de importância relativa (Saaty, 1987).

### Regressão linear aplicada no processo de análise hierárquica

Objetivando-se atribuir valores de peso de forma mais detalhada para o mapa de suscetibilidade, utilizou-se a regressão linear juntamente ao método AHP para aqueles parâmetros que têm suas classes na forma de intervalos. Os parâmetros inclinação, hipsometria e densidade de fluxo foram analisados, a fim de que fosse evitado que os valores extremos de

uma mesma classe obtivessem ponderações iguais, trazendo, assim, maior realidade à modelagem de suscetibilidade.

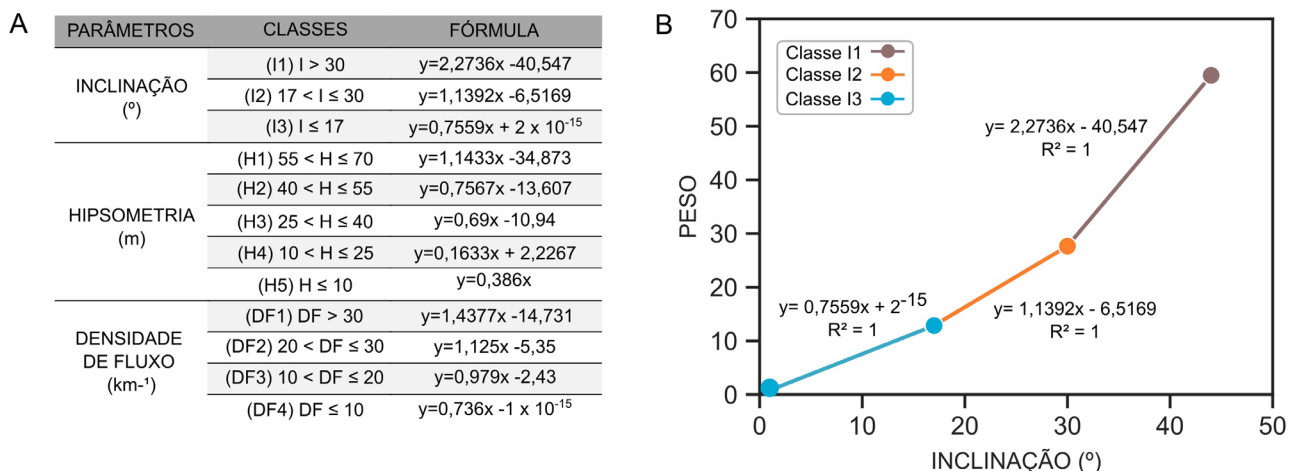
A regressão linear foi então utilizada para representar a relação entre os valores dos parâmetros (variável independente) e seu respectivo peso (variável dependente). Para isso, ajustou-se uma equação linear para cada classe dos parâmetros, respeitando os valores máximos dos parâmetros identificados na área de estudo (Figura 4).

Para se certificar que a equação ajustada representa da melhor forma a relação entre as variáveis, utilizou-se o coeficiente de correlação  $R^2$ . Esse coeficiente varia entre 0 e 1, em que os maiores valores indicam que o modelo linear está melhor ajustado à amostra. Após a análise dos dados, obteve-se valor de  $R^2$  igual a 1 em todas as classes de todos os parâmetros, indicando que o modelo linear está bem ajustado com os valores encontrados pelo método AHP.

Com as equações determinadas pela regressão linear e por meio de equações condicionais no *software* Excel, foram obtidos pesos para cada valor do parâmetro de inclinação, de hipsometria e densidade de fluxo.

Uma vez com os pesos estabelecidos, realizou-se, em ambiente SIG, *pixel a pixel*, a combinação dos pesos dos parâmetros com os pesos das suas respectivas classes, a fim de obter o índice de perigo (IP), como proposto em Faria (2011), denominado, neste trabalho, como índice de suscetibilidade (IS). Com os valores do IS calculados, realizou-se a álgebra de mapas por meio da calculadora de *raster*, em que os parâmetros de litologia, densidade de fluxo, inclinação e hipsometria foram sobrepostos e somados.

Para determinar as regiões de maiores suscetibilidades, o mapa foi classificado por meio do método *natural breaks* (Jenks, 1963), em quatro graus de suscetibilidade, sendo eles: baixo, médio, alto e muito alto.



**Figura 4.** Utilização da regressão linear no Processo de Análise Hierárquica. (A) Equações lineares que satisfazem as igualdades encontradas pelo método AHP. (B) Exemplo da regressão linear aplicada ao parâmetro de inclinação.

A confiabilidade do dado adquirido foi testada com os dados do inventário de movimentos de massa do Bairro Cidade Nova, cedidos pela Defesa Civil de Aracaju, os quais foram sobrepostos ao mapa de suscetibilidade gerado.

### **Pré-setorização de risco aos movimentos de massa**

A fim de obter os pré-setores de risco a movimento de massa, realizou-se, inicialmente, o mapeamento da cobertura da terra da área de estudo. Este foi produzido utilizando a imagem de satélite do município de Aracaju, cedida pela Defesa Civil de Aracaju, a qual representa um mosaico de três imagens do satélite *World-View 2*, da *Digital Globe*, adquiridas nas datas 05 de maio de 2017 e 09 de julho de 2017, no sistema de projeção UTM – Zona 24 S - Datum SIRGAS 2000.

Por meio da fotointerpretação manual da imagem de satélite na escala 1:3000 da área do Bairro Cidade Nova, mapeou-se em ambiente SIG oito classes de cobertura da terra, classificadas em: vegetação arbórea, vegetação arbustiva, vegetação rasteira, solo exposto, empreendimento público, empreendimento privado, residência e vias.

A partir da delimitação das classes de cobertura da terra, realizou-se a combinação, em ambiente SIG, das áreas que têm a interseção de regiões ocupadas por residências com setores classificados anteriormente como de muito alta suscetibilidade a movimento de massa. Por meio dessas interseções foram determinadas áreas para realização de voos com aeronave remotamente pilotada do modelo *Mavic 2 Zoom*. Esses voos oblíquos permitiram confirmar as informações obtidas em escritório, selecionar os pré-setores de risco a movimento de massa da área de estudo, bem como direcionar o mapeamento de escala de detalhe do risco sem a necessidade de percorrer grandes áreas de difícil acesso a pé, otimizando, assim, o trabalho.

### **Mapeamento de risco aos movimentos de massa**

O mapeamento de risco ao movimento de massa foi realizado tendo como base de referência os pré-setores de risco delimitados. Esse mapeamento, conhecido como mapeamento casa a casa, seguiu de forma adaptada a metodologia aplicada em Cerri (1993), Carvalho et al. (2007), Faria (2011) e Faria et al. (2016).

A fim de obter informações dos pré-setores vistoriados, realizou-se o preenchimento da ficha de campo (Figura 5), a qual tem, ao todo, seis etapas de coleta de informações, sendo elas: vulnerabilidade estrutural das residências, os fatores topográficos e geológicos das encostas, caracterização local, feições de instabilidade, histórico de processos e medidas mitigatórias.

Com as informações obtidas em 87 fichas de campo preenchidas, foram definidos os parâmetros que podem elevar ou atenuar a estabilidade da encosta de acordo com

os tipos de processos esperados nos taludes encontrados na área, sendo eles: escorregamento em talude natural, escorregamento em talude de corte ou de aterro e rolamento em talude de bloco rochoso. Essa consideração se dá pelo fato de que os diferentes tipos de encostas têm diferentes tipos de resistências ao cisalhamento, evidenciando a necessidade de diferentes ponderações dos seus parâmetros.

Nessa etapa do trabalho foram geradas as matrizes de comparação paritárias pelo método AHP para cada tipo de processo esperado, a fim de determinar os pesos dos seus parâmetros e das suas respectivas classes, seguindo a proposta de Saaty (1987). Para os parâmetros com classes em formato de intervalos, aplicou-se o método de regressão linear. Por meio dos pesos estabelecidos, determinou-se o índice de risco (IR) de cada casa vistoriada seguindo o método AHP, por intermédio do qual foram obtidos graus de risco por meio da média aritmética ( $X$ ) e o desvio padrão ( $\Delta$ ) dos valores encontrados de IR (Tabela 2), conforme proposto em Faria et al. (2016).

Com a definição dos graus de risco de cada casa visitada, delimitaram-se os setores de risco para o Bairro Cidade Nova. Realizou-se a quantificação de moradias e pessoas em risco para cada grau definido, comparando-se, posteriormente, esses dados com os mapeamentos realizados pela Defesa Civil de Aracaju e pela CPRM na área de estudo.

## **RESULTADOS**

### **Mapeamento de suscetibilidade**

#### *Mapeamento geológico de superfície*

O mapeamento geológico de superfície na escala de 1:5000 compreendeu a caracterização de rochas e perfis verticais em 28 pontos. Por meio de seções e mosaicos (Figura 6) foram classificadas duas litofácies para a área de estudo pertencentes ao Grupo Barreiras: arenito fino siltoso (Afs) e conglomerado (Cg).

A litofácies Afs é caracterizada como arenito fino siltoso, de estrutura maciça com coloração cinza roxeada, apresentando aspecto mosqueado, de baixa compactação, com camadas expostas de até 7 m de espessura. Representa a litofácies que compõe os morros da área de estudo e que, por apresentar baixa compactação e ser friável, representa o material geológico com maior ponderação para suscetibilidade a escorregamentos na área de estudo.

A litofácies Cg é descrita como conglomerado maciço com matriz arenosa silicificada, com seixos de quartzo de veio e quartzito arredondados a subarredondados de alta esfericidade. Ela ocorre na forma de blocos rochosos de dimensão de até 3 m, em apenas dois pontos discretos na área de estudo, ao longo das porções do topo dos morros

## MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA

DATA:

|  |  |
|--|--|
| <b>CÓDIGO DO ÁREA:</b>   | <b>UTM:</b>  |
| <b>ENDEREÇO:</b> <span style="float: right;"><b>BAIRRO CIDADE NOVA</b></span>  |  |
| <b>(1) VULNERABILIDADE</b>   |  |
| <b>NÚMERO DE RESIDENTES:</b>   | <b>TIPO DE MORADIA:</b> <input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Edifício  |
| <b>PADRÃO CONSTRUTIVO:</b> <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Madeira+Alvenaria <input type="checkbox"/> Alvenaria Simples <input type="checkbox"/> Alvenaria + Concreto  |  |
| <b>(2) FATOR TOPOGRÁFICO E GEOLÓGICO</b>   |  |
| <b>TIPO DE ENCOSTA:</b> <input type="checkbox"/> Talude natural <input type="checkbox"/> Talude de corte <input type="checkbox"/> Talude de aterro <input type="checkbox"/> Bloco rochoso  |  |
| <b>AMPLITUDE:</b>  | <b>INCLINAÇÃO:</b>   |
| <b>PERFIL DA ENCOSTA:</b> <input type="checkbox"/> Côncava <input type="checkbox"/> Convexa <input type="checkbox"/> Côncavo-convexo <input type="checkbox"/> Retilínea  |  |
| <b>MORFOLOGIA DA ENCOSTA:</b> <input type="checkbox"/> Côncava <input type="checkbox"/> Sinuosa <input type="checkbox"/> Convexa <input type="checkbox"/> Retilínea  |  |
| <b>LITOTIPO:</b> <input type="checkbox"/> Areno-siltoso <input type="checkbox"/> Arenoso <input type="checkbox"/> Areno-conglomerático <input type="checkbox"/> Conglomerático   |  |
| <b>SENTIDO DO MOVIMENTO DE MASSA:</b>  |  |
| <b>(3) CARACTERIZAÇÃO LOCAL</b>  |  |
| <b>LOCALIZAÇÃO DA MORADIA:</b> <input type="checkbox"/> Topo do Talude <input type="checkbox"/> Base do talude <input type="checkbox"/> Ao longo do talude   |  |
| <b>DISTÂNCIA DA MORADIA PARA O TALUDE:</b> _____ m para a base   _____ m para a quebra   |  |
| <b>COBERTURA:</b> <input type="checkbox"/> Arbórea <input type="checkbox"/> Arbustiva <input type="checkbox"/> Rasteira <input type="checkbox"/> Bananeira <input type="checkbox"/> Solo exposto   |  |
| <b>ÁGUA SUPERFICIAL:</b> <input type="checkbox"/> Linha de drenagem <input type="checkbox"/> Concentração alta <input type="checkbox"/> Concentração média <input type="checkbox"/> Concentração baixa   |  |
| <b>VAZAMENTO NA TUBULAÇÃO:</b> <input type="checkbox"/> Sim ( <input type="checkbox"/> esgoto <input type="checkbox"/> água) <input type="checkbox"/> Não  | <b>LIXO/ENTULHO:</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não   |
| <b>(4) FEIÇÕES DE INSTABILIDADE</b>  |  |
| <b>TERRENO/MORADIA:</b> <input type="checkbox"/> Nenhuma <input type="checkbox"/> Fissuras <input type="checkbox"/> Trincas<br><input type="checkbox"/> Rachaduras <input type="checkbox"/> Afundamento  | <b>INCLINAÇÃO:</b> <input type="checkbox"/> Árvores <input type="checkbox"/> Postes <input type="checkbox"/> Muros<br><b>MURO ABAULADOS:</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não |
| <b>CICATRIZ DE DESLIZAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não   | <b>DEGRAUS DE ABATIMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não  |
| <b>(5) HISTÓRICO DE PROCESSOS</b>  |  |
|  |  |
| <b>(6) MEDIDAS MITIGATÓRIAS</b>  |  |
| <b>NÃO ESTRUTURAIS:</b> <input type="checkbox"/> Remoção preventiva <input type="checkbox"/> Remoção definitiva <input type="checkbox"/> Monitoramento<br><input type="checkbox"/> Serviço de limpeza <input type="checkbox"/> Supressão de bananeiras <input type="checkbox"/> Poda/supressão de árvore   |  |
| <b>ESTRUTURAIS:</b> <input type="checkbox"/> Proteção superficial <input type="checkbox"/> Estabilização de blocos rochosos <input type="checkbox"/> Obras de drenagem superficial<br><input type="checkbox"/> Obras de contenção de pequeno porte <input type="checkbox"/> Obras de contenção de médio a grande porte<br><input type="checkbox"/> Obras de escoamento de águas servidas |  |
| <b>OBSERVAÇÕES</b>   |  |
| *Existem obras de contenção já realizadas?   |  |

**Figura 5.** Ficha de campo para coleta de informações do mapeamento de risco.



e associado ao nível estratigráfico do saprólito. Os blocos foram interpretados como produto da percolação de fluidos diagenéticos que promoveram cimentação diferencial, o que favorece seu destaque em superfície e faz desse litotipo uma

preocupação adicional no que diz respeito à suscetibilidade para queda de blocos na área de estudo.

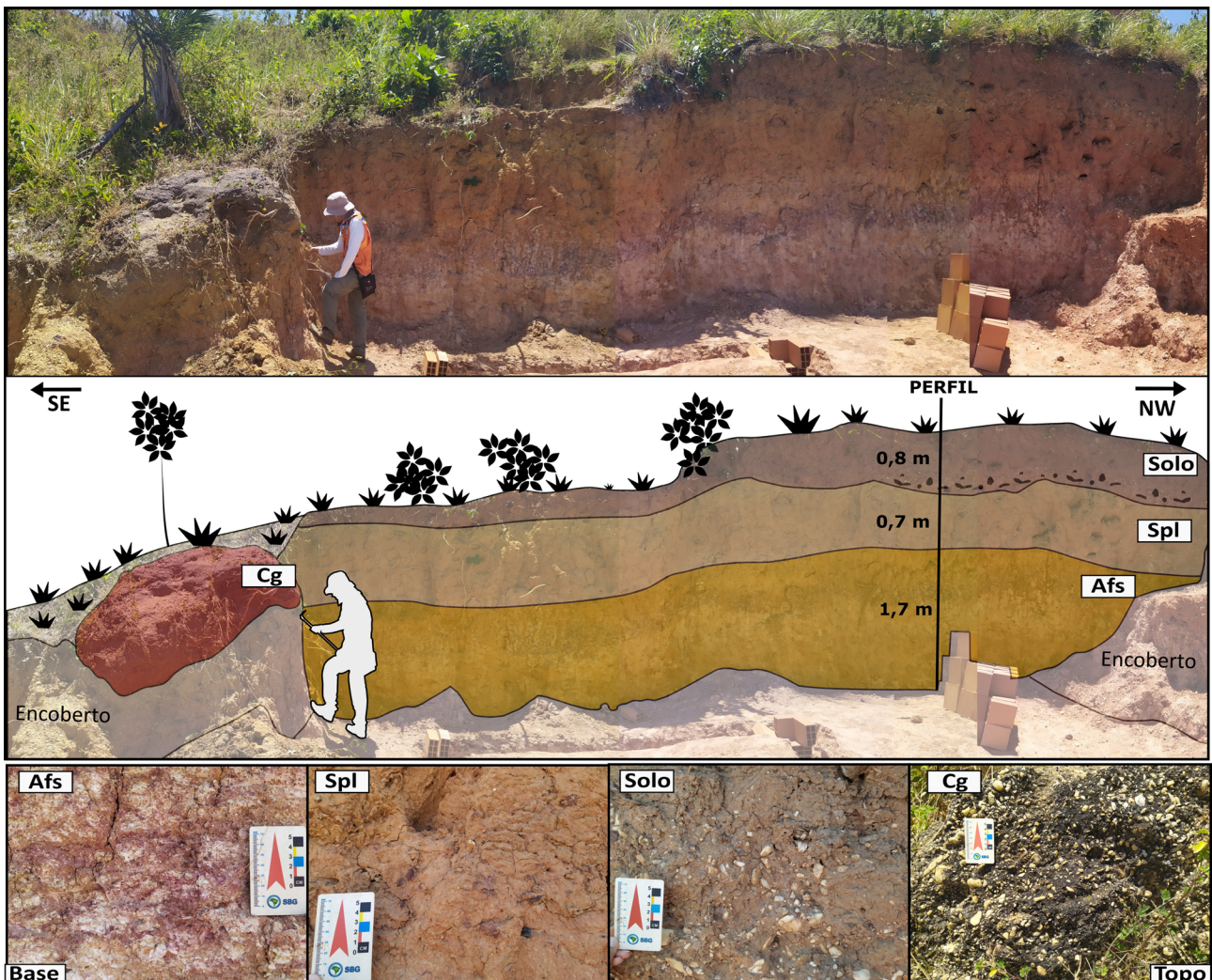
Além das duas litofácies, foi descrita, por toda a extensão da área de estudo, imediatamente sobre cada uma delas, uma camada geralmente inferior a 1,0 m de espessura, composta por saprólito (Spl) com textura areno-siltosa, mas que pode atingir localmente até 3 m de espessura, tendo sido interpretada como horizonte pedológico de alteração da litofácies Afs.

De forma concordante, no topo da seção, ocorre uma camada de solo saprolítico residual, com até 0,8 m de espessura, comumente rico em matéria orgânica, associado ao desenvolvimento de vegetação rasteira à arbustiva. Ao longo dele é possível notar, com frequência, feições de instabilidade

**Tabela 2.** Intervalos do índice de risco para determinar o grau de risco.

| Grau de risco | Intervalo índice de risco                |
|---------------|--|
| Baixo         | $IR < X - \Delta/2$                      |
| Médio         | $X - \Delta/2 \leq IR \leq X + \Delta/2$ |
| Alto          | $IR > X + \Delta/2$                      |
| Muito alto    | Presença de feições de instabilidade     |

IR: índice de risco.



Afs: arenito fino siltoso; Cg: conglomerado; Spl: saprólito e solo saprolítico residual.

**Figura 6.** Fotointerpretação do perfil geológico exposto ao longo de um talude de corte característico da área de estudo, e suas respectivas litofácies.

superficial do terreno, como degraus de abatimento, com deslocamento de até 0,3 m.

### Parâmetros

A partir dos resultados das curvas de nível e das informações obtidas pelo mapeamento geológico, foram gerados os mapas de inclinação, hipsometria, densidade de fluxo e litotipo, definidos para o mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa (Figura 7).

De um total de 821.453 m<sup>2</sup> de área, o Bairro Cidade Nova tem 0,7% do seu terreno composto por inclinações superiores a 30°, mais propícias à incidência de movimentos de massa. As maiores elevações do terreno estão na porção central do bairro, atingindo 40 m de amplitude em 21,8% da área. A litologia é quase exclusivamente composta por arenitos finos siltosos (99,8%), relacionados à gênese do Grupo Barreiras. Apesar de predominante, sua ocorrência pode variar em espessura de um ponto para outro, obedecendo, geralmente, à organização de camadas descrita acima (Figura 6). A densidade de fluxo de drenagem superficial é superior a 30 km<sup>-1</sup> em 3,5% do território, representando, assim, as regiões localizadas no entorno das maiores elevações e inclinações do terreno.

### Aplicação do método AHP e da regressão linear

Por meio das matrizes de comparações paritárias foram obtidos fatores que elevam ou atenuam a suscetibilidade ao movimento de massa. Todas essas matrizes apresentaram valores de razão de consistência (RC) inferiores a 0,1, indicando coerência nos valores de pesos obtidos, segundo o que foi proposto em Saaty (1987).

O parâmetro que recebeu a maior ponderação foi o de inclinação (54,23%), seguido dos parâmetros de hipsometria (23,33%), litologia (13,97%) e densidade de fluxo (8,47%). A matriz de comparação paritária também foi realizada para as classes de cada parâmetro, em que se aplicou o método de regressão linear para os parâmetros de inclinação, hipsometria e densidade de fluxo, devido ao fato de esses apresentarem suas classes em forma de intervalos numéricos. Sendo assim, a classe que apresentou inclinações superiores a 30° recebeu pesos variando de 27,67 a 59,49%, com as maiores ponderações aplicadas aos maiores valores de inclinação. Por sua vez, a classe de hipsometria, com valores superiores a 55, m recebeu pesos variando entre 28,02 e 45,16%, enquanto a classe de densidade de fluxo, com valores superiores a 30 km<sup>-1</sup>, recebeu pesos variando de 28,41 a 47,09% (Figura 8).

Com a obtenção das ponderações pelo método AHP e pelo método da regressão linear, determinaram-se, em ambiente SIG, valores do IS para cada *pixel* da área de estudo, em que os valores de IS variaram entre 7 e 51, sendo agrupados em 4 classes de suscetibilidade: baixa, média, alta e muito alta.

A classe de baixa suscetibilidade compreendeu os valores de IS entre 7 e 16, enquanto a classe de média suscetibilidade, os valores de IS entre 16,01 e 21. As classes de alta e muita alta suscetibilidade apresentaram valores de IS variando, respectivamente, de 21,01 a 28 e de 28,01 a 51.

Dessa forma, os resultados mostraram que a maior porção da área de estudo (59,5%) tem baixa suscetibilidade aos movimentos de massa, seguida pela classe de média suscetibilidade (25,6%). As demais áreas, localizadas nas regiões central e norte do bairro, foram interpretadas com alta (11,8%) e muita alta suscetibilidade (3,1%), merecendo maior atenção por parte do poder público (Figura 9).

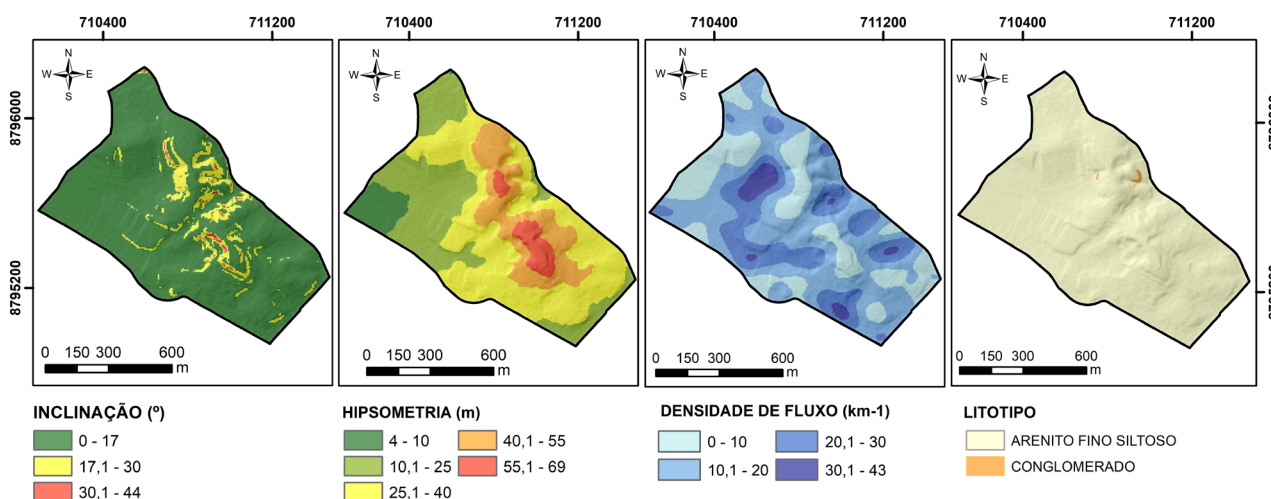
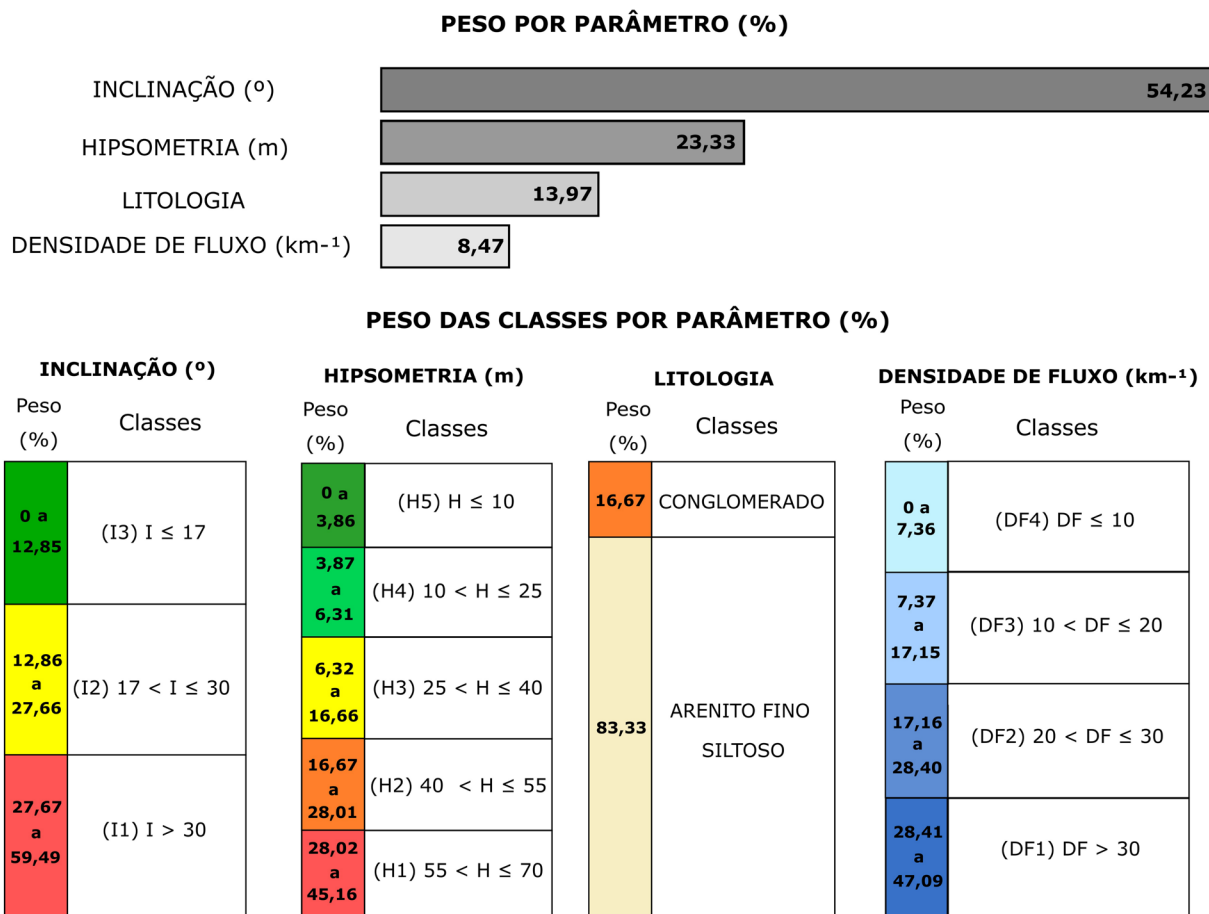


Figura 7. Parâmetros do Bairro Cidade Nova e suas respectivas classes. Projeção UTM, Datum SIRGAS 2000, Zona 24 S.





**Figura 8.** Ponderações obtidas para os parâmetros e suas respectivas classes por meio do método AHP.

A fim de testar a confiabilidade do método, realizou-se a sobreposição do mapa de susceptibilidade com a distribuição espacial de ocorrências registradas como movimento de massa pela Defesa Civil do município, entre os anos de 2019 e 2020. O confronto dessas informações permitiu interpretar que 76,9% dos movimentos de massa ocorreram dentro da área mapeada pelo método AHP como classe de muito alta susceptibilidade. O restante das ocorrências relacionadas a movimentos de massa (23,1%) ocorreu dentro da área mapeada como de alta susceptibilidade. Não houve sobreposição entre ocorrências de movimentos de massa com as classes interpretadas como baixa e média susceptibilidade, o que confere confiabilidade ao método aplicado (Figura 10).

*Pré-setores de risco*

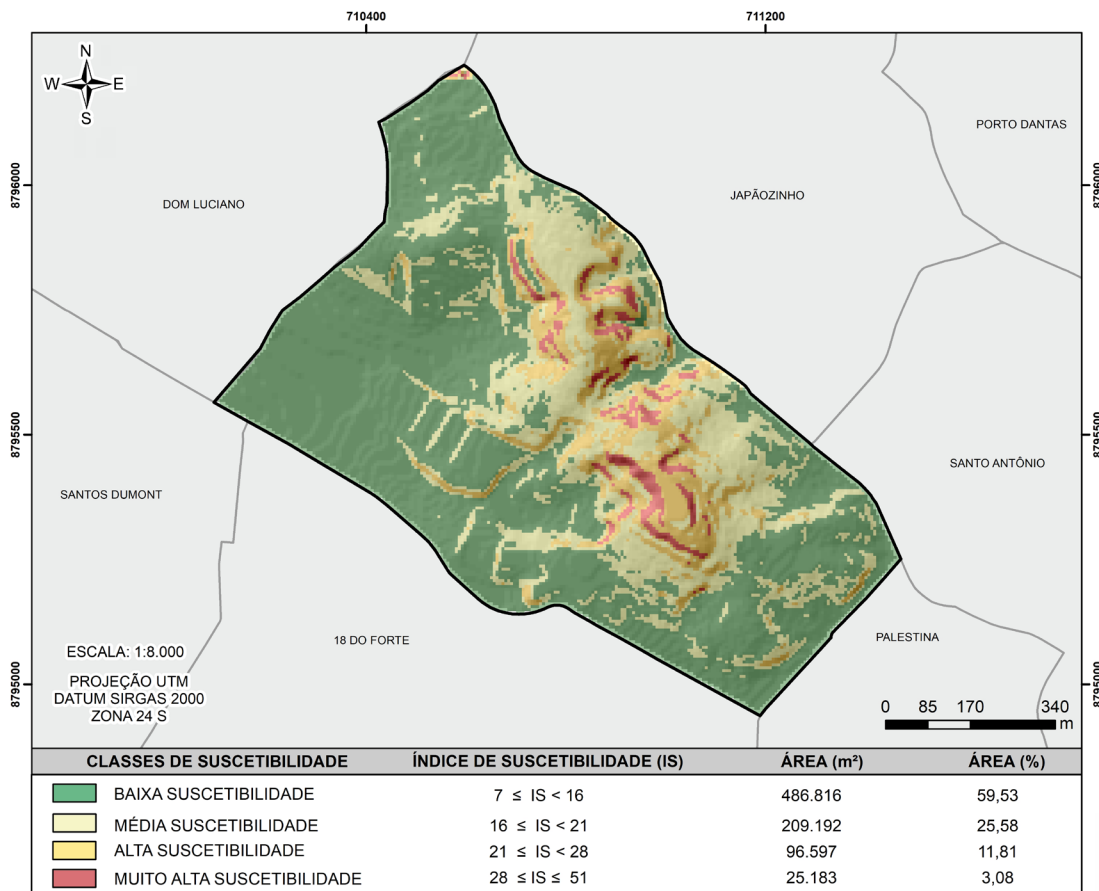
O mapa de cobertura da terra auxiliou na determinação das áreas do bairro ocupadas. Verificou-se que 53,8% da área está ocupada com residências, seguida por áreas sobre as quais estão dispostos vias públicas e privadas (44,1%) bem como empreendimentos privados (1,2%) e públicos (0,6%).

Notaram-se poucas áreas nas quais estão preservados vegetação arbórea (0,26%), rasteira (0,02%), arbustiva (0,01%) e solo exposto (0,01%) (Figura 11).

A sobreposição das regiões de muita alta susceptibilidade com a classe “Residências” e a sua posterior comparação direta com as imagens oblíquas de baixa altitude permitiram delimitar 16 pré-setores de risco a movimento de massa na área de estudo (Figura 12). Ao todo, foram quantificadas 356 moradias com necessidade de mapeamento de campo na escala de detalhe casa a casa, a fim de definir a delimitação dos setores e os seus graus de risco.

*Mapeamento de risco*

Com a utilização dos métodos AHP e de regressão linear, determinaram-se os pesos para cada tipo de processo esperado nos taludes encontrados (Tabela 3). O parâmetro que recebeu a maior ponderação para todos os tipos de talude foi a relação “distância/altura”, que representa a razão da distância da moradia para a encosta e a amplitude do talude. Entende-se, dessa forma, que quanto menor o valor da razão,



**Figura 9.** Mapa de suscetibilidade a movimento de massa obtido pelo método AHP, com destaque para 11,81% do bairro em alta suscetibilidade e 3,08% em muito alta suscetibilidade.

menor é a porção da zona de “amortecimento” do movimento de massa, o que configura maior risco para a residência.

Ao todo, foram delimitados 43 setores de risco, os quais tiveram seus graus de risco definidos pelos intervalos de IR (Figura 13). Estes foram interpretados em 16 setores com grau de risco baixo (IR superiores a 17,29 e inferiores a 29,86), 14 com grau de risco médio (IR variando de 29,86 a 32,21), 9 com grau de risco alto (IR superior a 32,21) e 4 com grau de risco muito alto, nos quais o IR esteve acima de 32,21 e foram identificadas abundantes feições de instabilidade em campo.

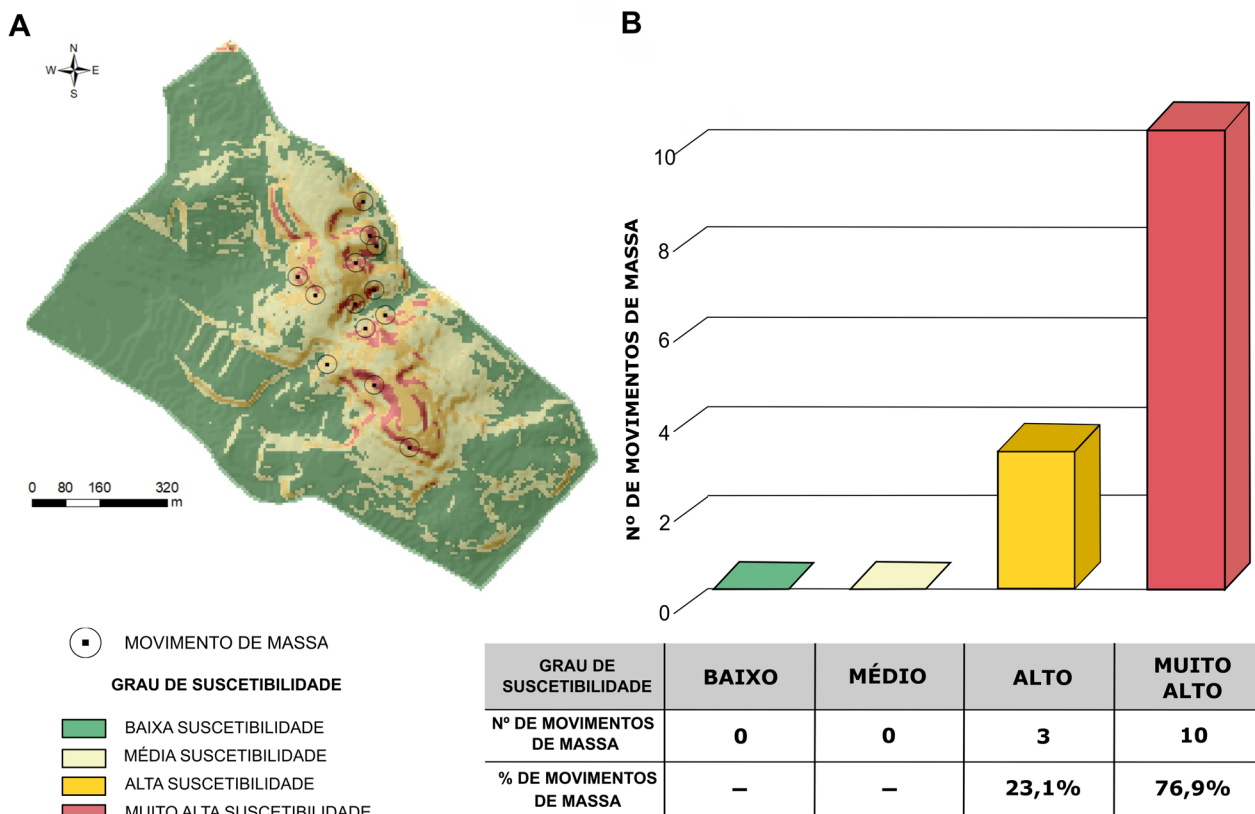
Dessa forma, quantificaram-se 356 moradias e 1.417 pessoas em situação de risco de escorregamentos, separadas de acordo com o grau de risco. Dessas moradias, 93 (26,1%) estão em situação de risco alto e muito alto. Ao todo, são 13 moradias (3,6 %) e 63 pessoas (4,4%) em risco muito alto, e 80 moradias (22,5%) com 310 pessoas (21,8%) em risco alto (Figura 13).

Os setores de alto e muito alto risco são caracterizados por encostas com amplitudes superiores a 10 m, com moradias de

alvenaria, sem amarrações estruturais, localizadas nos limites da crista e da base dos taludes, cujas inclinações atingem até 80°. Deve-se levar em conta que algumas inclinações são superiores àquelas obtidas nos parâmetros para o cálculo da suscetibilidade (Figura 7), pois usam como referência vertentes artificiais, cujos taludes de corte são comumente sub-verticais. Ambos os setores têm alta concentração de água superficial durante os períodos chuvosos, evidenciada pela morfologia côncava das encostas e por indícios de erosões superficiais, como presença de sulcos e ravinas nos terrenos. Estes registram históricos de movimentação de terra, com abundantes feições de instabilidade vistas em campo, como: rachaduras no terreno e nas moradias, inclinações de árvores e degraus de abatimento (Figura 14).

#### Comparação com mapeamentos anteriores

Em análise comparativa entre os resultados desta pesquisa com o produto do mapeamento realizado pela Defesa Civil em 2019, foi possível notar alguns pontos contrastantes.



**Figura 10.** (A) Sobreposição do mapa de suscetibilidade com a distribuição de ocorrências de movimentos de massa entre os anos de 2019 e 2020. (B) Frequências de movimentos de massa por classe de suscetibilidade.

Houve aumento do número de setores de risco mapeados, sendo observada mudança de 5 setores de alto risco para 9 setores, caracterizando aumento de 80%. No que diz respeito ao número de moradias em alto risco no bairro, houve forte queda, de 186 para 80, configurando redução de 57%. Já o número de pessoas passou de 744 para 310, perfazendo redução de 58,3%. O mesmo ocorreu para os setores mapeados como de muito alto risco, que tiveram aumento do número de setores de 1 para 4, porém com redução de 68,3% de moradias e de 61,6% de pessoas em situação de muito alto risco no bairro (Figura 15).

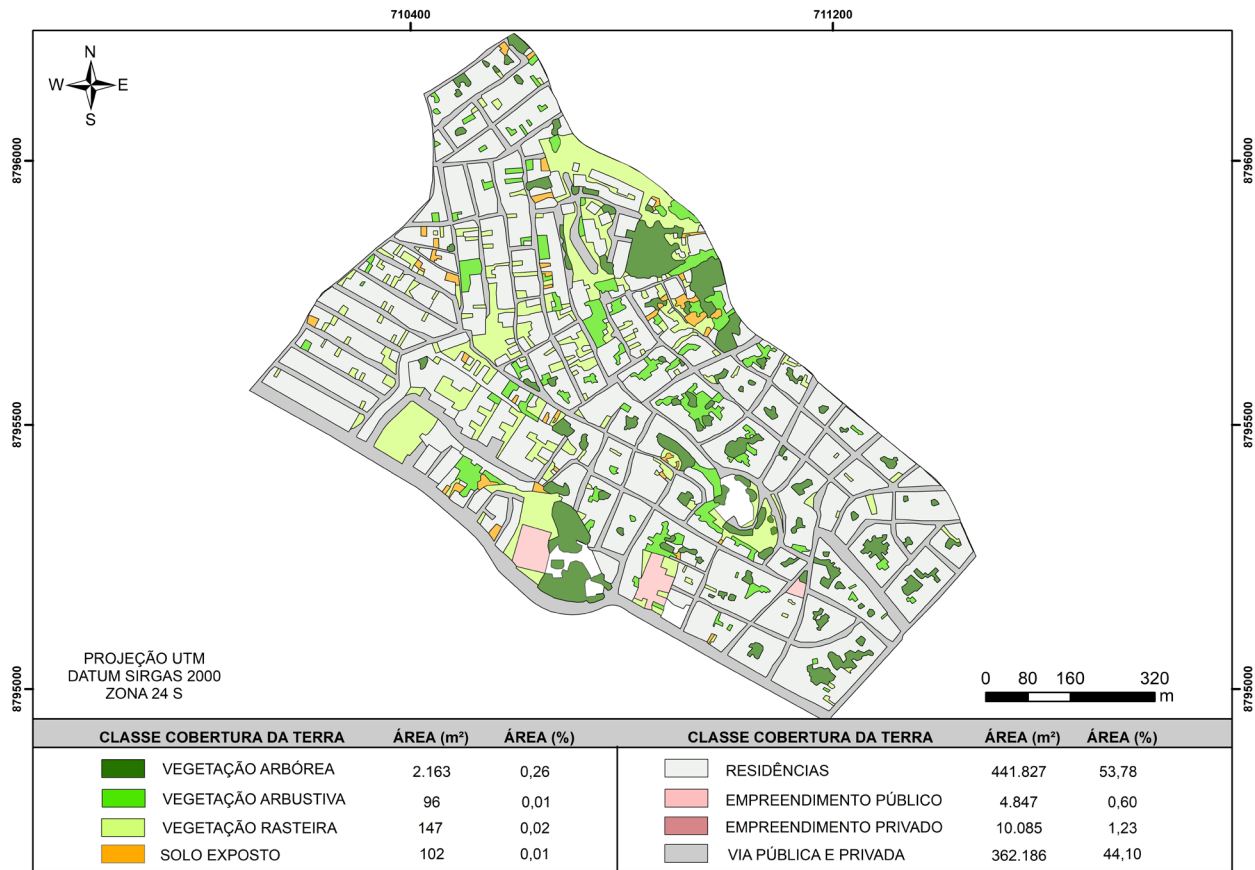
Em comparação com os resultados obtidos pelo mapeamento da CPRM no ano de 2019, observou-se aumento do número de setores classificados como de alto risco, de 1 para 9, como também do número de moradias (de 17 para 80) e de pessoas (de 69 para 310). Em relação aos setores de muito alto risco, também se observou aumento do seu número, saindo de 1 para 4 setores, enquanto o número de moradias foi reduzido de 32 para 13 e de pessoas, de 128 para 63 (Figura 15).

Por meio da comparação visual dos dados desta pesquisa em relação aos da Defesa Civil e da CPRM, observaram-se grandes setores em área mapeados pelos trabalhos anteriores. Devido à escala do trabalho ser de menor detalhe, os setores da Defesa Civil e da CPRM englobaram inúmeras moradias no mesmo grau de risco, apesar de haver moradias com diferentes condicionantes para a ocorrência de escorregamentos.

Com a utilização do método AHP aliado à escala de detalhe casa a casa, identificaram-se em campo moradias com diferentes graus de risco ou até mesmo sem risco em relação aos trabalhos anteriores, conferindo, assim, maior refino para o mapeamento de risco da área de estudo (Figura 16).

## DISCUSSÃO

Nos últimos 30 anos, um grande número de publicações nacionais direcionou a atenção para a prevenção de desastres geológicos em meios urbanos por meio do mapeamento de



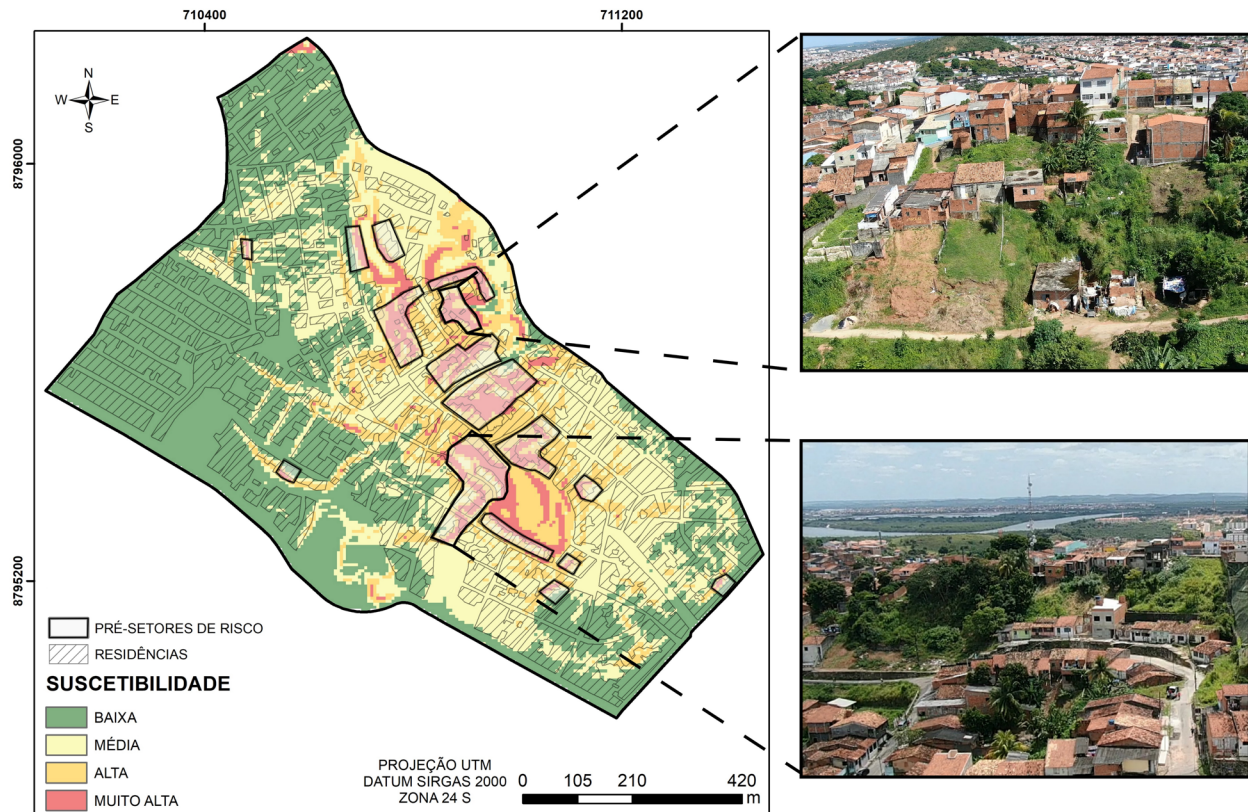
**Figura 11.** Mapa de cobertura da terra, com destaque para 53,78% da área do bairro recoberta por residências.

risco geológico-geotécnico ou de suscetibilidade, com destaque para os movimentos de massa (Gusmão Filho et al., 1992; Cerri, 1993; Zuquette, 1993; Augusto Filho, 1994, 2001; Alheiros, 1998; Canil, 2000; Macedo, 2000; Nogueira, 2002; Carvalho et al., 2007; Cerri et al., 2007; Marcelino, 2008; Tominaga et al., 2009; Bongiovanni et al., 2011; Dourado et al., 2012; Bitar, 2014; Carvalho, 2014; Faria et al., 2016). Contudo, alguns estados e municípios ainda vêm sofrendo com a escassez de pesquisas e monitoramento periódico focados na prevenção, conforme visto na Política Nacional de Redução de Desastres, que prevê responsabilidade penal aos municípios que descumprirem a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012 (Brasil, 2012). Existem variados fatores que condicionam a situação atual, embora o principal deles seja a cultura de enfrentamento por meio da remediação ou mitigação de desastres, em vez de o conhecimento, o monitoramento prévio do risco. Outro fator preponderante é a falta de políticas públicas adequadas e de aplicação de metodologias pragmáticas ajustadas a cada realidade, como

forma de evitar desastres urbanos, especialmente em áreas periféricas (Nogueira, 2002).

O risco de escorregamentos de solo, eventos instantâneos e, por isso, mais letais, continua sendo o segundo mais frequente no Brasil (Marcelino, 2008) e o principal agente desencadeador de perdas humanas quando se trata de processos naturais ou aliados a alguma interferência antrópica (Tominaga et al., 2009; Mendes et al., 2018a, 2018b; König et al., 2019; Avila et al., 2020). Processos naturais como esse concentram-se no Sudeste e no Sul do país, onde os índices pluviométricos são superiores a 2.000 mm por ano, normalmente com acumulados acima de 60, 80 ou 100 mm em 3 dias (Santoro et al., 2010), e em áreas de elevado gradiente topográfico com vertentes de inclinação superior a 30°. Quando essas condições estão satisfeitas em um local com ocupação domiciliar desordenada, está formado o risco geológico. De forma oposta, áreas costeiras de topografia pouco acidentada e com menor expressão pluviométrica anual, concentrada em poucos meses do ano, acabam recebendo menor atenção do poder público. Um exemplo





**Figura 12.** Sobreposição da classe de cobertura da terra “residências” ao mapa de suscetibilidade, definindo os pré-setores de risco da área de estudo.

disso é o estado de Sergipe, cuja capital, Aracaju, ficou marcada por déficit habitacional ao longo dos anos 1980 e 1990, segundo Araújo (2002), impulsionado pela escalada de preços dos imóveis em áreas centrais, o que teria condicionado uma migração da população para áreas de morros nas regiões norte e oeste do município, em situação de assentamento fundiário irregular e isenta de equipamentos públicos (Araújo e Vilar, 2004; Jesus, 2018). Essa corrente migratória condicionou a consolidação de famílias em condições de moradias precárias, sobre relevos acidentados, cujo reflexo foi sentido durante a ocorrência de eventos discretos de movimentos de massa registrados ao longo dos anos 2000 em bairros periféricos (Araújo e Vilar, 2004) e 2010 (Santos, 2014; Neta, 2016).

Aventa-se, nesta pesquisa, que a existência de eventos de escorregamentos pontuais em cada bairro, distribuídos de forma discreta no tempo, tenha contribuído para o amadurecimento tardio da cultura de prevenção ao risco geológico nas áreas periféricas da cidade. Somente durante os anos 2010, com a criação do Plano de Contingência à

Desastres Naturais (PLACON) e com o início dos mapeamentos da CPRM no ano de 2013, foi possível ter noção dos setores de risco do município. A partir daí, houve maior enfoque a essa questão, especialmente quando a interação entre Defesa Civil e Universidade culminou em maior proximidade e geração de trabalhos, formação de estagiários em Geologia na Defesa Civil do município, auxiliando na formação de Núcleos de Defesa Civil (NUDECs) e no monitoramento de risco de escorregamentos nos bairros da zona norte (Fraga, 2018; Jesus, 2018; Araújo, 2019; Costa, 2019; Franco, 2019).

Desde 2019, o mapeamento dos setores de risco dos bairros da zona norte foi intensificado pela Defesa Civil de Aracaju, dando continuidade à revisão do trabalho da CPRM (Cunha e Dias, 2019) e aos mapeamentos prévios feitos pelo órgão municipal. Esses estudos concentraram esforços no monitoramento periódico dos setores preexistentes e na inclusão de novas áreas dentro do risco de escorregamentos de solo nessa região. O Bairro Cidade Nova, inserido nesse contexto, recebeu a classificação

**Tabela 3.** Pesos dos parâmetros e das classes para todos os tipos de processos esperados nos taludes encontrados na área de estudo.

|                                       | Parâmetros           | Peso (%)                   | Classes                    | Peso (%)                 | Parâmetros          | Peso (%)             | Classes                            | Peso (%) |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|----------|
| Escorregamento em talude natural      | Distância/<br>Altura | 24,74                      |                            | 27,85 a                  | Cobertura           | 6,2                  | (C1) Solo exposto                  | 46,01    |
|                                       |                      |                            | (DA1) $0 < D/A \leq 1/4$   | 44,95                    |                     |                      | (C2) Vegetação potenc.             | 29,18    |
|                                       |                      |                            | (DA2) $1/4 < D/A \leq 1/2$ | 16,54 a                  |                     |                      | (C3) Arbustiva                     | 14,33    |
|                                       |                      |                            | (DA3) $1/2 < D/A \leq 3/2$ | 27,84                    |                     |                      | (C4) Arbórea                       | 6,92     |
|                                       |                      |                            | (DA4) $3/2 < D/A \leq 2$   | 7,06 a 16,53             |                     |                      | (C5) Rasteira                      | 3,56     |
|                                       |                      |                            | (DA5) $D/A > 2$            | 3,64 a 7,05              |                     |                      |                                    |          |
|                                       | Inclinação<br>(°)    | 19,63                      |                            | 0,03 a 3,63              | Água<br>superficial | 4,73                 | (AS1) Linha de<br>drenagem         |          |
|                                       |                      |                            | (I1) $I > 30$              | 26,06 a                  |                     |                      | (AS2) Concentração<br>alta         | 57,64    |
|                                       |                      |                            | (I2) $17 < I \leq 30$      | 63,33                    |                     |                      | (AS3) Concentração<br>média        | 25,56    |
|                                       |                      |                            | (I3) $I \leq 17$           | 10,63 a                  |                     |                      | (AS4) Concentração<br>baixa        | 11,72    |
| Amplitude<br>(m)                      | 15,96                |                            | 26,05                      | Estrutura                | 3,61                | (E1) Fratura         | 75,00                              |          |
|                                       |                      | (A1) $A1 > 20$             | 0,22 a 10,62               |                          |                     | (E2) Maciço          | 25,00                              |          |
|                                       |                      | (A2) $15 < A2 \leq 20$     | 29,74 a                    |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      | (A3) $10 < A3 \leq 15$     | 46,58                      |                          |                     |                      |                                    |          |
| Padrão<br>construtivo                 | 12,05                |                            | 16,79 a                    | Perfil da<br>encosta     | 2,86                | (P1) Convexo         | 53,85                              |          |
|                                       |                      | (PC1) Madeira              | 29,73                      |                          |                     | (P2) Côncavo-convexo | 28,96                              |          |
|                                       |                      | (PC2) Mista                | 6,92 a 16,78               |                          |                     | (P3) Retilíneo       | 11,96                              |          |
|                                       |                      | (PC3) Alvenaria<br>simples | 0,16 a 6,91                |                          |                     | (P4) Côncavo         | 5,23                               |          |
| Litotipo                              | 7,97                 |                            | 5,23                       | Morfologia<br>da encosta | 2,24                | (M1) Côncavo         | 53,85                              |          |
|                                       |                      | (L1) Areno-argiloso        | 48,94                      |                          |                     | (M2) Sinuoso         | 28,96                              |          |
|                                       |                      | (L2) Arenoso               | 28,79                      |                          |                     | (M3) Retilíneo       | 11,96                              |          |
|                                       |                      | (L3) Areno-conglo.         | 16,23                      |                          |                     | (M4) Convexo         | 5,23                               |          |
|                                       |                      | (L4) Conglomerático        | 6,04                       |                          |                     |                      |                                    |          |
| Escorregamento em talude corte/aterro | Distância/<br>Altura | 24,74                      |                            | 27,85 a                  | Cobertura           | 6,2                  | (C1) Solo exposto                  | 46,01    |
|                                       |                      |                            | (DA1) $0 < D/A \leq 1/4$   | 44,95                    |                     |                      | (C2) Vegetação<br>potencializadora | 29,18    |
|                                       |                      |                            | (DA2) $1/4 < D/A \leq 1/2$ | 16,54 a                  |                     |                      | (C3) Arbustiva                     | 14,33    |
|                                       |                      |                            | (DA3) $1/2 < D/A \leq 3/2$ | 27,84                    |                     |                      | (C4) Arbórea                       | 6,92     |
|                                       |                      |                            | (DA4) $3/2 < D/A \leq 2$   | 7,06 a 16,53             |                     |                      | (C5) Rasteira                      | 3,56     |
|                                       |                      |                            | (DA5) $D/A > 2$            | 3,64 a 7,05              |                     |                      |                                    |          |
|                                       | Inclinação<br>(°)    | 19,63                      |                            | 0,03 a 3,63              | Água<br>superficial | 4,73                 | (AS1) Linha de<br>drenagem         |          |
|                                       |                      |                            | (I1) $60 < I \leq 90$      | 25,57 a                  |                     |                      | (AS2) Concentração<br>alta         | 57,64    |
|                                       |                      |                            | (I2) $30 < I \leq 60$      | 57,64                    |                     |                      | (AS3) Concentração<br>média        | 25,56    |
|                                       |                      |                            | (I3) $17 < I \leq 30$      | 11,73 a                  |                     |                      | (AS4) Concentração<br>baixa        | 11,72    |
| Amplitude<br>(m)                      | 15,96                |                            | 25,56                      | Estrutura                | 3,61                | (E1) Fratura         | 75,00                              |          |
|                                       |                      | (A1) $A1 > 10$             | 5,08 a 11,72               |                          |                     | (E2) Maciço          | 25,00                              |          |
|                                       |                      | (A2) $5 < A2 \leq 10$      | 0,09 a 5,07                |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      | (A3) $2 < A3 \leq 5$       | 30,89 a                    |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      | (A4) $A4 \leq 2$           | 52,83                      |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      |                            | 11,60 a                    |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      |                            | 30,88                      |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      |                            | 4,71 a 11,59               |                          |                     |                      |                                    |          |
|                                       |                      |                            | 0,33 a 4,70                |                          |                     |                      |                                    |          |

Continua...

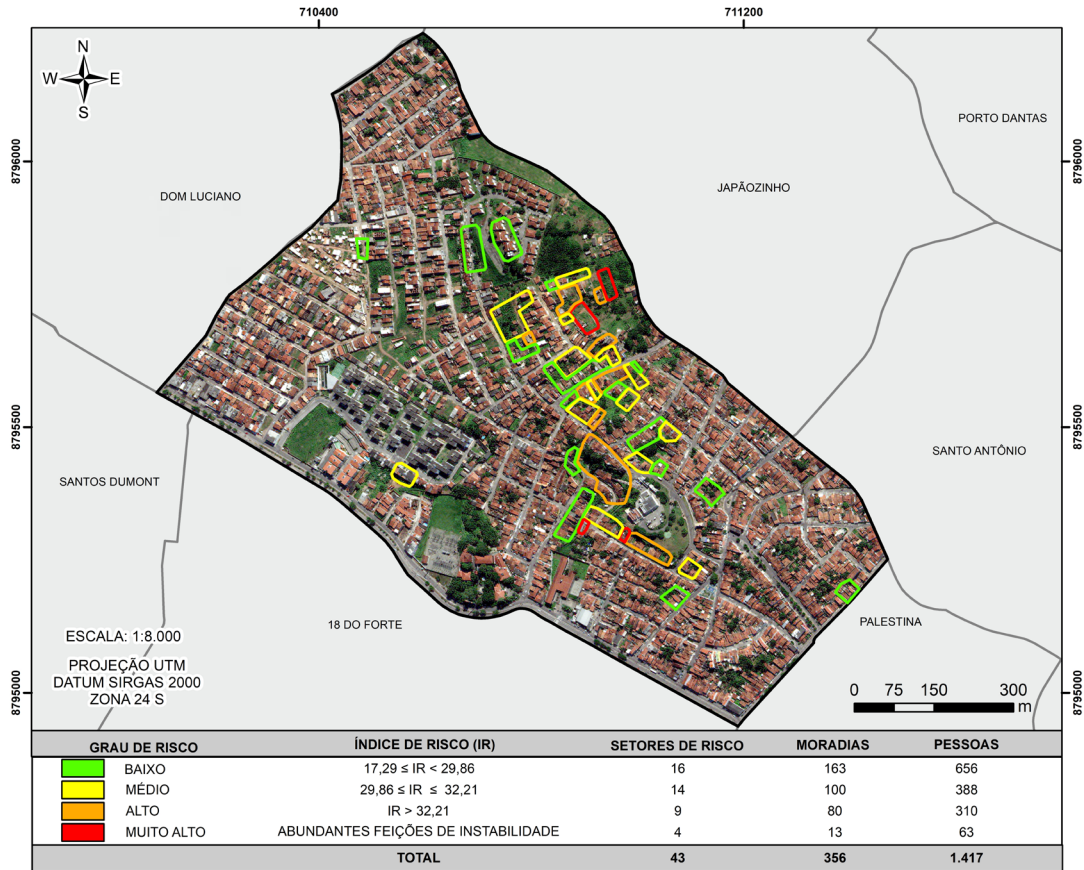


Tabela 3. Continuação.

|                                       | Parâmetros         | Peso (%)                | Classes                    | Peso (%)              | Parâmetros        | Peso (%)                 | Classes              | Peso (%)      |       |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|---------------|-------|
| Escorregamento em talude corte/aterro | Padrão construtivo | 12,05                   | (PC1) Madeira              | 53,85                 | Perfil da encosta | 2,86                     | (P1) Convexo         | 53,85         |       |
|                                       |                    |                         | (PC2) Mista                |                       |                   |                          | (P2) Côncavo-convexo |               | 28,96 |
|                                       |                    |                         | (PC3) Alvenaria simples    |                       |                   |                          | (P3) Retilíneo       |               | 11,96 |
|                                       |                    |                         | (PC4) Concreto armado      |                       |                   |                          | (P4) Côncavo         |               | 5,23  |
| Litotipo                              | 7,97               | (L1) Areno-argiloso     | 48,94                      | Morfologia da encosta | 2,24              | (M1) Côncavo             | 53,85                |               |       |
|                                       |                    | (L2) Arenoso            |                            |                       |                   | (M2) Sinuoso             |                      | 28,96         |       |
|                                       |                    | (L3) Areno-conglo.      |                            |                       |                   | (M3) Retilíneo           |                      | 11,96         |       |
|                                       |                    | (L4) Conglomerático     |                            |                       |                   | (M4) Convexo             |                      | 5,23          |       |
| Rolamento em talude de bloco rochoso  | Distância/Altura   | 24,25                   | (DA1) $0 < D/A \leq 1/4$   | 27,85 a 44,95         | Dimensão (m)      | 6,94                     | (D1) $D1 > 3$        | 26,06 a 63,33 |       |
|                                       |                    |                         | (DA2) $1/4 < D/A \leq 1/2$ | 16,54 a 27,84         |                   |                          | (D2) $2 < D2 \leq 3$ | 10,63 a 26,05 |       |
|                                       |                    |                         | (DA3) $1/2 < D/A \leq 3/2$ | 7,06 a 16,53          |                   |                          | (D3) $D3 \leq 2$     | 0,22 a 10,62  |       |
|                                       |                    |                         | (DA4) $3/2 < D/A \leq 2$   | 3,64 a 7,05           |                   |                          |                      |               |       |
|                                       |                    |                         | (DA5) $D/A > 2$            | 0,03 a 3,63           |                   |                          |                      |               |       |
|                                       | Inclinação (°)     | 19,26                   | (I1) $60 < I \leq 90$      | 25,57 a 57,64         | Forma geométrica  | 5,23                     | (FG1) Arredondado    | 66,67         |       |
|                                       |                    |                         | (I2) $30 < I \leq 60$      | 11,73 a 25,56         |                   |                          | (FG2) Tabular        |               | 33,33 |
|                                       |                    |                         | (I3) $17 < I \leq 30$      | 5,08 a 11,72          |                   |                          |                      |               |       |
|                                       |                    |                         | (I4) $I \leq 17$           | 0,09 a 5,07           |                   |                          |                      |               |       |
|                                       | Amplitude (m)      | 14,99                   | (A1) $A1 > 15$             | 28,80 a 48,94         | Estrutura         | 3,99                     | (E1) Fratura         | 75,00         |       |
|                                       |                    |                         | (A2) $10 < A2 \leq 15$     | 16,24 a 28,79         |                   |                          | (E2) Maciço          |               | 25,00 |
|                                       |                    |                         | (A3) $5 < A3 \leq 10$      | 6,05 a 16,23          |                   |                          |                      |               |       |
| (A4) $3 < A4 \leq 5$                  |                    |                         | 0,16 a 6,04                |                       |                   |                          |                      |               |       |
| Padrão construtivo                    | 11,17              | (PC1) Madeira           | 53,85                      | Cobertura             | 3,03              | (C1) Solo exposto        | 46,01                |               |       |
|                                       |                    | (PC2) Mista             |                            |                       |                   | (C2) Vegetação potenc.   |                      | 29,18         |       |
|                                       |                    | (PC3) Alvenaria simples |                            |                       |                   | (C3) Arbustiva           |                      | 14,33         |       |
|                                       |                    | (PC4) Concreto armado   |                            |                       |                   | (C4) Arbórea             |                      | 6,92          |       |
| Consistência                          | 8,82               | (CO1) Muito consistente | 45,16                      | Água superficial      | 2,36              | (AS1) Linha de drenagem  | 57,64                |               |       |
|                                       |                    | (CO2) Consistente       |                            |                       |                   | (AS2) Concentração alta  |                      | 25,56         |       |
|                                       |                    | (CO3) Med. consistente  |                            |                       |                   | (AS3) Concentração média |                      | 11,72         |       |
|                                       |                    | (CO4) Pouco consistente |                            |                       |                   | (AS4) Concentração baixa |                      | 5,07          |       |
|                                       |                    | (CO5) Sem consistência  |                            |                       |                   |                          |                      |               |       |

de alguns setores em risco alto e muito alto. Apesar de o método adotado (Carvalho et al., 2007) em ambos os casos chamar a atenção, pelo caráter qualitativo, foi possível classificar, de forma pragmática, 336 moradias e um total de 1.344 pessoas em risco, fornecendo ao poder público e à população um panorama da realidade sobre o risco, até então desconhecido.

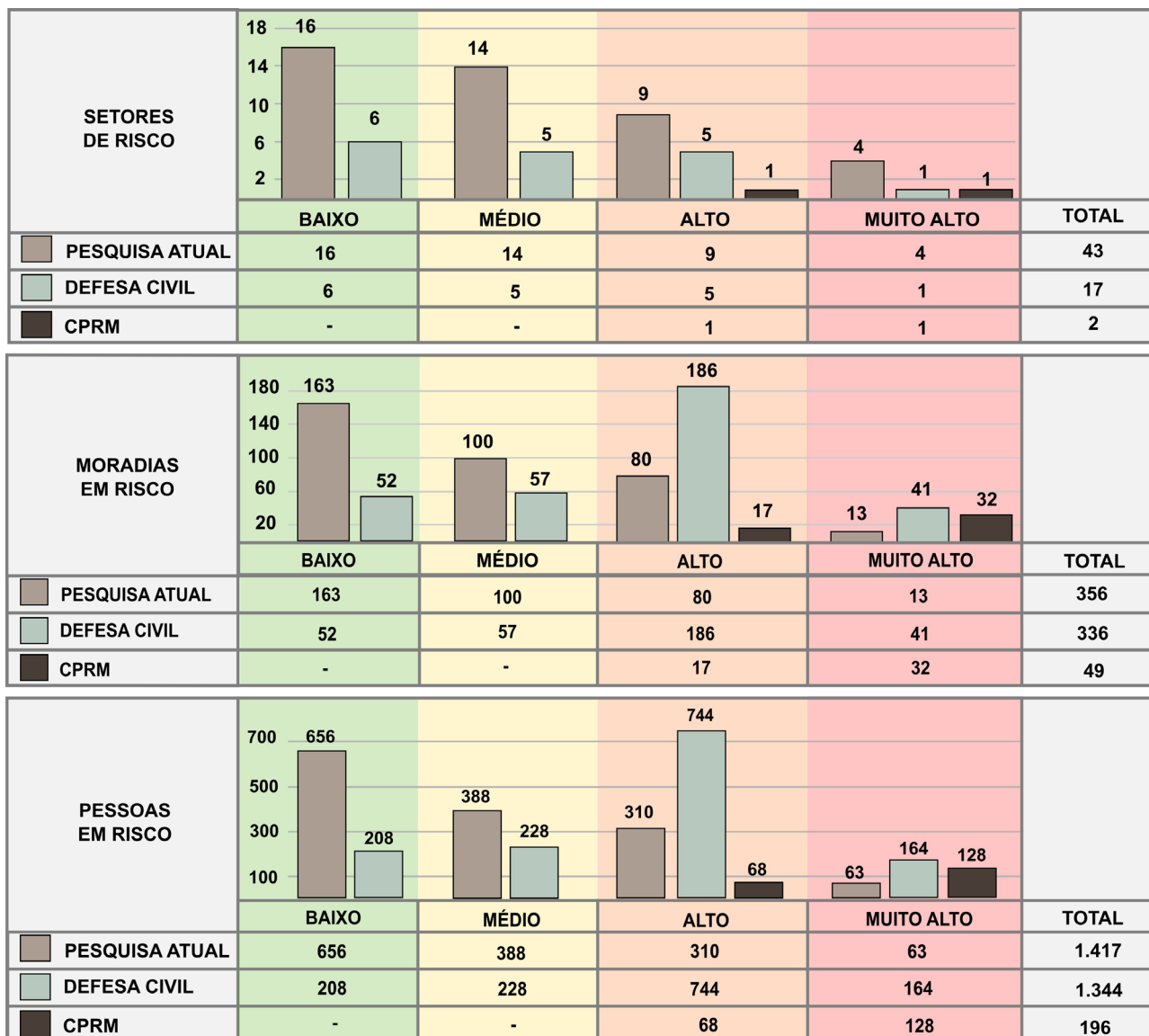
Apesar de eficaz, por sua rapidez em qualificar os tipos e os graus de risco, o mapeamento proposto por Carvalho et al. (2007) apresenta no seu método a abordagem heurística direta, considerada por Guzzetti et al. (1999), Barredo et al. (2000), Faria (2011) e Sobreira e Souza (2012) como qualitativa e subjetiva, que depende diretamente da habilidade do profissional para estimar o



**Figura 13.** Mapa dos setores de risco do bairro Cidade Nova e quantificações de moradias e pessoas em situação de risco ao movimento de massa.



**Figura 14.** Visão geral dos principais setores de risco mapeados no Bairro Cidade Nova. (A) Moradias no topo e na base de encosta natural e de corte com histórico de escorregamento e rastejo de solo. (B) Feições de instabilidade exemplificadas por rachaduras diagonais nas residências. (C) Talude de aterro e de corte na meia encosta. (D) Sulcos e rachaduras no talude de aterro indicando erosão superficial e movimentação de massa. (E) Talude natural com inclinações superiores a 40°. (F) Lançamento de água servida na encosta.

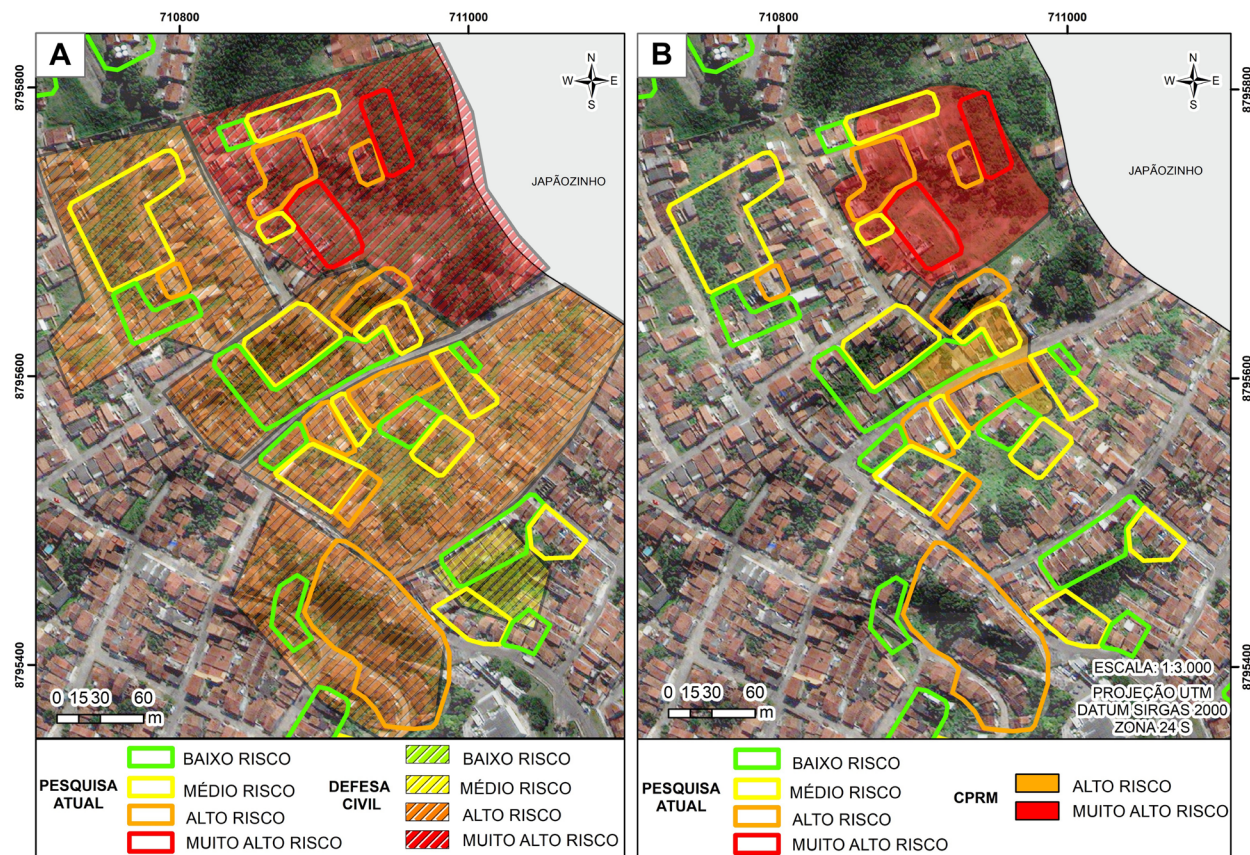


**Figura 15.** Comparação da quantificação de setores, moradias e pessoas em risco entre os dados da pesquisa atual, com os mapeamentos do ano de 2019 da Defesa Civil de Aracaju e da CPRM.

potencial de escorregamento. Como forma de diminuir a subjetividade, em Faria (2011) e Faria et al. (2016) foi utilizado o Processo de Análise Hierárquica na análise de perigo e risco a movimento de massa. Esse método, proposto inicialmente por Saaty (1987), representa uma abordagem heurística indireta, a qual, segundo Barredo et al. (2000), tem como premissa utilizar a combinação dos parâmetros qualitativos do terreno com a aplicação de valores de ponderação, podendo ser combinados em *software* SIG. Essas aplicações trouxeram um caráter semiquantitativo ao mapeamento de setores de risco, permitindo resultados mais refinados ao trabalho.

Uma das limitações observadas com a utilização do método AHP, além da dependência de especialistas para a sua realização, foi a definição de ponderações para os parâmetros que apresentam suas classes em formato de intervalos. Essa limitação ficou evidente na ponderação do parâmetro de inclinação, para o qual, para a classe I2, que varia até 30°, foi encontrado inicialmente valor de ponderação de 27,66%, enquanto para o valor de inclinação de 31°, que representa a classe I1, a ponderação foi de 59,49%. Como principal motivação para trazer maior detalhamento às ponderações, esta pesquisa utilizou, de forma inédita para o município, a regressão linear aplicada ao método AHP. Com essa adaptação,





**Figura 16.** Comparativo entre mapeamentos anteriores e a presente pesquisa. A. Sobreposição dos setores mapeados em 2019 pela Defesa Civil e os setores de risco interpretados por esta pesquisa. B. Sobreposição ilustrando a diminuição do tamanho da área de setores de risco muito alto entre o mapeamento da CPRM em 2019 e o presente trabalho.

obtiveram-se ponderações para cada valor específico das classes, trazendo maior realidade aos modelos de suscetibilidade e às análises de risco da área de estudo.

Além de dados com maior eficácia, os resultados desta pesquisa, quando comparados com os mapeamentos da Defesa Civil e da CPRM, corroboram o proposto por Cerri (1993), cujo trabalho evidencia a necessidade de mapeamentos em maiores escalas de detalhe, a fim de identificar e analisar os condicionantes geológicos para escorregamentos de solo, de moradia para moradia.

## CONCLUSÕES

A partir da comparação das informações obtidas após o mapeamento de suscetibilidade com os dados do inventário de movimento de massa, observou-se boa calibração das ponderações atribuídas aos parâmetros e suas classes, como também a eficaz utilização dos métodos AHP e de regressão

linear na análise semiquantitativa aplicada ao mapeamento de suscetibilidade ao movimento de massa.

Por meio da análise do mapeamento de risco obtido em relação aos da Defesa Civil de Aracaju e da CPRM, conclui-se que o método utilizado neste trabalho trouxe maior detalhamento aos setores de risco, evidenciado pela redução de 68 e 40% de moradias mapeadas como de muito alto risco pela Defesa Civil e pela CPRM, respectivamente. Do ponto de vista prático, esses resultados poderão direcionar de forma mais efetiva o poder público para as regiões mais críticas do bairro que necessitam de intenso monitoramento, como também possibilitar intervenções estruturais ou realocação da população, visando prevenir, mitigar e eliminar os riscos geológicos.

Para trabalhos futuros, é recomendada a realização da análise de risco para as áreas mapeadas como de alta suscetibilidade, a utilização de um banco de dados mais completo em relação às ocorrências de movimento de massa e a proposição de intervenções estruturais ou não estruturais para os setores de risco mapeados.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacias (PGAB), localizado na Universidade Federal de Sergipe (UFS), pelo suporte dado para o desenvolvimento da pesquisa, à Defesa Civil do Município de Aracaju, pelo apoio logístico e material, e aos revisores anônimos que contribuíram para a melhoria do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

- Alheiros, M. M. (1998). *Riscos de escorregamentos na região metropolitana do Recife*. Tese (Doutorado). Salvador: Pós-Graduação em Geologia – UFBA.
- Aracaju. (2000). *Lei complementar nº 42 de 04/10/2000*. Plano diretor de desenvolvimento urbano do município de Aracaju – PDDU. Prefeitura de Aracaju; Empresa Municipal de Obras e Urbanização. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=172074>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- Araújo, H. M. (2002). As áreas de risco na malha urbana de Aracaju. *Revista GEOUFS*, 1(1), 2834.
- Araújo, H. M., Vilar, J. W. C. (2004). Encostas no ambiente urbano de Aracaju/SE. *V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia*. Rio Grande do Sul: UFSM. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/6/Helio%20Mario%20de%20Araujo%202.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- Araújo, I. B. A. (2019). *Mapeamento de detalhe em área de risco a movimento de massa e caracterização geológica de taludes em região do Bairro Cidade Nova, Aracaju/SE*. Trabalho de conclusão de curso. São Cristóvão: Departamento de Geologia – UFS.
- Augusto Filho, O. (1994). *Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica – USP.
- Augusto Filho, O. (2001). *Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para implantação de seguros em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp.
- Avila, F. F., Alvalá, R. C. S., Mendes, R. M., Amore, D. (2020). The influence of land use/land cover variability and rainfall intensity in triggering landslides: a back-analysis study via physically based models. *Natural Hazards*, 105, 1139-1161. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04324-x>
- Barredo, J. I., Benavides, A., Hervás, J., Van Westen, C. J. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(1), 9-23. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(00\)85022-9](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(00)85022-9)
- Bitar, O. Y. (2014). *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000*: Nota Técnica Explicativa. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM. (Publicação IPT 3016.)
- Bongiovanni, L. A., Fukumoto, M. M., Antonio, C. A., Figueiredo, F. T., Cayres, M. V. A. (2011). Operação Guarda-Chuva: prevenção e resposta a desastres naturais em São Bernardo do Campo – SP. *XIII Congresso de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Espírito Santo: CGEA.
- Brasil. (2012). 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. *Diário Oficial da União*, Brasília.
- Canil, K. (2000). *Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP.
- Carvalho, C. S., Macedo, E. S., Ogura, A. T. (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisa Tecnológicas.
- Carvalho, D. T. (2014). *As políticas públicas de gestão de desastres ambientais: o caso do município de Niterói após o episódio do Morro do Bumba*. Dissertação (Mestrado). Niterói: Instituto de Ciências Humanas e Filosóficas – UFF. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14699>. Acesso em: 14 maio 2021.
- Cerri, L. E. S. (1993). *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

- Cerri, L. E. S., Nogueira, F. R., Carvalho, C. S., Macedo E. S., Augusto Filho, O. (2007). Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo. *Revista Geociências*, 26(2), 143-150. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/106837>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- Costa, C. C. (2019). *Setores de risco de escorregamentos de solo e suscetibilidade à enxurradas do Morro do Urubu (Bairro Porto D'Antas, Aracaju – SE)*. Trabalho de conclusão de curso. São Cristóvão: Departamento de Geologia – UFS.
- Cunha, F. L. B., Dias, R. P. (2019). *Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações, Aracaju – SE*. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19936.2>. Acesso em: 30 maio 2021.
- Dourado, F., Arraes, T. C., Silva, M. F. (2012). O megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro – as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. *Anuário do Instituto de Geociências*, 35(2), 43-54. [https://doi.org/10.11137/2012\\_2\\_43\\_54](https://doi.org/10.11137/2012_2_43_54)
- Faria, D. G. M. (2011). *Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise hierárquica (AHP)*. Tese (Doutorado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP. <https://doi.org/10.11606/T.18.2011.tde-08122011-110908>
- Faria, D. G. M., Mendes, R.F, Valério filho, M., Bertoldo, M. A., Silva, M. F. (2016). Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) no mapeamento de risco associado a escorregamentos no município de São José dos Campos – SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68 (9), 1712-1735. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44439>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- Fraga, I. M. (2018). *Caracterização dos tipos de riscos geológicos no Bairro Porto D'Antas, Aracaju – SE*. Trabalho de conclusão de curso. São Cristóvão: Departamento de Geologia – UFS.
- Franco, L. S. (2019). *Relatório interno de mapeamento das áreas de risco do Bairro Cidade Nova e Japãozinho – Aracaju (SE)*. Aracaju: Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Aracaju – COMDEC.
- Gusmão Filho, J. A., Melo, L. V., Alheiros, M. M. (1992). Estudo das encostas de Jaboatão dos Guararapes, PE. *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro: ABMS-ABGE-ISSMGE. v. 1. p. 191-209.
- Guzzetti, I. F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Landslide evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1)
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2000). *The study on water resources development in the state of Sergipe in the Federative Republic of Brazil*. Aracaju, Sergipe. Disponível em: [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11565157\\_02.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11565157_02.pdf). Acesso em: 26 ago. 2021.
- Jenks, G. F. (1963). Generalization in statistical mapping. *Annals of the Association of American Geographers*, 53(1), 15-26. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1963.tb00429.x>
- Jesus, M. O. (2018). *Risco de escorregamentos de solo no Bairro Porto D'Antas, Aracaju – SE / Brasil*. Trabalho de conclusão de curso. São Cristóvão: Departamento de Geologia – UFS.
- JICA – Japan International Cooperation Agency (2000). *The study on water resources development in the state of Sergipe in the Federative Republic of Brazil*. Aracaju, Sergipe. Disponível em: [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11565157\\_02.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11565157_02.pdf). Acesso em: 26 ago 2021.
- König, T., Kux, H. J. H., Mendes, R. M. (2019). Shalstab mathematical model and WorldView-2 satellite images to identification of landslide-susceptible areas. *Natural Hazards*, 97, 1127-1149. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03691-4>
- Macedo, E. S. (2000). *Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- Marcelino, E. V. (2008). *Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos*. São José do Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Mendes, R. M., Andrade, M. R. M., Graminha, C. A., Prieto, C. C., Ávila, F. F., Camarinha, P. I. M. (2018a). Stability analysis on urban slopes: case study of an anthropogenic-induced landslide in São José dos Campos, Brazil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 599-610. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0303-z>
- Mendes, R. M., Andrade, M. R. M., Tomasella, J., Moraes, M. A. E., Scofield, G. B. (2018b). Understanding shallow landslides in Campos do Jordão Municipality - Brazil: disentangle the anthropic effects from natural causes in the



- disaster of 2000. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 15-30. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-15-2018>
- Miall, A. D. (1978). Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: A. D. Miall (Ed.). *Fluvial Sedimentology*. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists, 597-604.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22(4), 261-309. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(85\)90001-7](https://doi.org/10.1016/0012-8252(85)90001-7)
- Neta, B. G. S. (2016). *Análises de risco e perigo de movimentos de massa, caracterização geotécnica e estabilidade de encostas na região metropolitana de Aracaju*. Dissertação (Mestrado). São Cristóvão: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFS.
- Nogueira, F. R. (2002). *Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/102945>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- Ribeiro, N. M. G. (1985). Transformações recentes do espaço urbano de Aracaju. *Revista Geonordeste*, 2(1), 20-31.
- Rozos, D., Bathrellos, G. D., Skillodimou, H. D. (2011). Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslides susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 63, 49-63. <https://doi.org/10.1007/S12665-010-0687-z>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process: What it and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Santoro, J., Mendes, R. M., Pressinotti, M. M. N., Manoel, G. R. (2010). Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil em São Paulo, SP. *VII Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*. Maringá: UEM/DGE/PGE/DEC/PEU, p. 1-14.
- Santos, D. M. F. (2014). *Mapeamento e análise de risco no Bairro América, município de Aracaju/SE*. Trabalho de conclusão de curso. São Cristóvão: Departamento de Geologia – UFS.
- Silva, R. C., Mendes, R. M., Fisch, G. (2020). Future scenarios (2021-2050) of extreme precipitation events that trigger landslides - a case study of the Paraitinga River watershed, SP, Brazil. *Ambiente e Água*, 15(7), 1-18. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2558>
- Sobreira, F. G., Souza, L. A. (2012). Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2, 79-97. Disponível em: <https://www.abge.org.br/volume-2-n-1>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- Tatizana, C., Ogura, A. T., Cerri, L. E. S., Rocha, M. C. M. (1987a). Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. *V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*. Anais, 2, 225-236. São Paulo: ABGE.
- Tatizana, C., Ogura, A. T., Cerri, L. E. S., Rocha, M. C. M. (1987b). Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. *V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*. Anais, 2, 237-248. São Paulo: ABGE.
- Teixeira, L. R. (2014). *Mapa geológico e de recursos minerais do estado de Sergipe*. Escala 1:250.000. Brasil: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (2009). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico.