

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

ROBSON RODRIGUES QUINA

**AVALIAÇÃO DO MDE GERADO PELO SENSOR PALSAR/SATÉLITE ALOS,
COMO ALTERNATIVA PARA O ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A
ESCORREGAMENTOS EM LOCAIS COM DEFICIÊNCIA DE DADOS.**

JUIZ DE FORA,
2019

ROBSON RODRIGUES QUINA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

**AVALIAÇÃO DO MDE GERADO PELO SENSOR PALSAR/SATÉLITE ALOS,
COMO ALTERNATIVA PARA O ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A
ESCORREGAMENTOS EM LOCAIS COM DEFICIÊNCIA DE DADOS.**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, área de concentração: Dinâmicas Sócio-Ambiental, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

JUIZ DE FORA,

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Quina, Robson Rodrigues.

Avaliação do MDE gerado pelo sensor Palsar/satélite ALOS, como alternativa para o zoneamento de áreas de risco a escorregamentos em locais com deficiência de dados. / Robson Rodrigues Quina. -- 2019.

198 p. : il.

Orientador: Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós Graduação em Geografia, 2019.

1. Modelagem . 2. MDE. 3. Escorregamentos. 4. Sensor Palsar. 5. Satélite ALOS . I. Zaidan, Ricardo Tavares, orient. II. Título.

ROBSON RODRIGUES QUINA

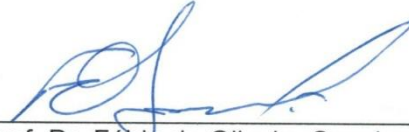
**AVALIAÇÃO DO MDE GERADO PELO SENSOR PALSAR/SATÉLITE ALOS,
COMO ALTERNATIVA PARA O ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A
ESCORREGAMENTOS EM LOCAIS COM DEFICIÊNCIA DE DADOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Dissertação defendida e aprovada em 01 de abril de 2019.



Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Fábio de Oliveira Sanches
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Gustavo Mota de Sousa
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter sido essencial em minha vida, e por ter estado comigo ao longo desta caminhada. Dedico à minha mãe Márcia e ao meu pai José Maria, minhas principais fontes de inspiração. Tributo também à minha esposa Janielli, por ter estado comigo lado-a-lado nesta trajetória, obrigado pela paciência e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por ter me amparado ao longo dessa caminhada, me dando força, saúde e sabedoria para alcançar mais essa conquista em minha vida.

Em especial, quero gratificar imensamente aos meus pais, Márcia Cristina Rodrigues e José Maria Quina, por tudo que fizeram por mim. Sem vocês nada do que aconteceu em minha vida seria sendo possível. Muito obrigado pelo amor, dedicação, paciência e incentivo para comigo. Essa vitória é mais uma vez de vocês. Amo muito vocês.

Aos meus avós maternos, “vó Brazina” e “vô Vande”, meus avós paternos “vó Ruth” e “vô Paulim” *in memoriam*, pelos ensinamentos passados e também pelo apoio e orações. Seus votos humildes e verdadeiros nunca serão esquecidos.

Agradeço grandemente a minha eterna namorada, agora esposa, “Janny”, pelo amor, confiança e parceria ao longo desses anos juntos. Sua presença e suporte foram fundamentais para superarmos juntos as dificuldades e contratempos. Ao seu lado encontrei força e paz para alcançar meus objetivos traçados. Te Amo.

As minhas irmãs (Marcela e Bruna), sobrinhas(os), afilhadas(os), padrinhos e madrinhas, tias(os), primas(os), amigos(as) de infância e vizinhos, muito obrigado por terem feito parte da minha vida. Reservo um lugar especial a vocês por terem me dado conselhos, apoio e por se preocuparem com o andamento de minha vida pessoal e acadêmica.

Em particular, agradeço ao meu orientador e agora amigo, Professor Dr. Ricardo Tavares Zaidan, primeiramente por ter me acolhido e aceitado ser o orientador do meu projeto de pesquisa, sem ao menos me conhecer. E em segundo lugar, por ter me passado confiança e ter sustentado o meu interesse em desenvolver esse trabalho no meu município. Gratifico-o pelas orientações, ajudas, críticas, sugestões, apoio e compreensão, desde o primeiro dia de orientação até o dia da defesa final deste trabalho, estando sempre presente no desenvolvimento desta pesquisa. Por fim, agradeço imensamente por esses 2 (dois) anos de orientação, obrigado por estar sempre ao meu lado, me motivando e me dando conselhos de cunho profissional e pessoal, se tornando um verdadeiro amigo que levarei para minha vida toda. A você “Zaidan” meus sinceros agradecimentos.

Um agradecimento particular aos amigos/“companheiros de todas as horas” Rafael de Souza Alves, Rômulo Montan Costa e Francisco Carlos Moreira Gomes, não tenho vergonha de dizer que sem vocês ao meu lado, seria muito mas árduo e complicado chegar ao final deste sonho. Vocês não mediram esforços em me ajudar nas dificuldades encontradas ao longo desta caminhada, estando sempre solícitos para tudo que precisei. Cresci demais como profissional e como ser humano ao lado de vocês 3 (três), o meu “Muitíssimo Obrigado” por terem estado comigo, nunca irei esquecer do que cada um de vocês fizeram por mim. Um grande abraço e que Deus abençoe e ilumine o caminho de para cada um.

Aos demais amigos(as) que fiz durante essa trajetória Rafael Alves Jeremias, Lucas Pinheiro, Luciano Caraméz, Gustavo Amaral, Angel Loo, Wendel Santana, Alessandro Cabral e Ricardo Rocha, o meu “Muito Obrigado”, por fazerem parte dessa etapa e por alegrarem meus dias, tornando essa trajetória menos árdua. Encontrei em vocês amizade, apoio e companheirismo.

Ao Laboratório de Geoprocessamento Aplicado – LGA-UFJF e seus integrantes por ter me proporcionado momentos de grandes “discussões” e construção de conhecimento.

Minha gratidão especial aos grandes Mestres que tiveram grande contribuição neste trabalho, Edson Soares Fialho, Pedro José de Oliveira Machado, Fábio de Oliveira Sanches, Ângelo Alves Carrara, Cesar Barra Rocha, profissionais estes que passei a ter uma imensa admiração e apreço, tanto pessoalmente, quanto profissionalmente.

Gratifico aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Geografia que de alguma forma fizeram parte dessa caminhada e contribuíram para minha formação.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos subsídios fornecidos, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

As contribuições provenientes da utilização de ferramentas geotecnológicas para análise de fenômenos na superfície terrestre são diversas para os estudos geográficos. Tais instrumentos, além de possibilitar um estudo mais amplo e aprofundado sobre uma determinada área ou processo, dão base e proporcionam o conhecimento e o desenvolvimento de pesquisas em áreas com carências ou deficiências de dados. Portanto, mediante as dificuldades inerentes ao levantamento e aquisição de dados e elementos físicos, definidas pelo alto custo e pela falta de infraestrutura e recursos, as geotecnologias se colocam com uma solução para suprir as necessidades deste tipo de problema. Neste sentido, a pesquisa se estruturou por meio de dois objetivos principais os quais caminharam paralelamente e se complementam ao final desta. O primeiro deles foi a comparação entre os produtos altimétricos provenientes dos sensores PALSAR (menor resolução) e LiDAR (maior resolução), a fim de aferir a qualidade dos resultados gerados pelo produto altimétrico do sensor PALSAR na identificação de áreas que possuem probabilidade à ocorrência de escorregamentos. Já o segundo objetivo se baseou na aplicação do produto altimétrico do sensor PALSAR para o Zoneamento de Áreas de Risco a Escorregamentos nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques (BHRH) e do Ribeirão dos Palmares (BHRP), localizadas no município de São João Nepomuceno-MG, área esta com uma carência de base de dados. Em linhas gerais, constatou-se que apesar do produto PALSAR, não ter a mesma acurácia e detalhamento do LiDAR, ambos apresentaram diversas similaridades. Contudo, a avaliação da homogeneidade de dados por meio da aplicação do Coeficiente e Determinação (R^2) e do Coeficiente de Correlação de Pearson (r), bem como dos erros por meio do Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Médio Relativo (EMR) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), demonstraram que ambos os produtos apresentam forte similaridade. Destaca-se que o Zoneamento de Áreas de Risco, gerado a partir do método de Sobreposição Ponderada, entre o mapa de Índices de Estabilidade e o mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da superfície, apresentou respostas contundentes na identificação das áreas de risco a escorregamento nas Bacias Hidrográficas investigadas, uma vez que, ao se analisar as cicatrizes de escorregamentos pretéritos existentes na área, grande parte delas foram evidenciadas sobre regiões consideradas de “Alto” ou “Altíssimo” Risco a ocorrência de escorregamentos. Diante ao exposto, considerou-se que o MDE existente no PALSAR/ALOS, apresenta resultados aceitáveis e convincentes de serem aplicados na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos, principalmente em locais que não dispõe de uma base de dados satisfatória. Por fim, dos materiais utilizados, e da metodologia que foi aplicada para o desenvolvimento deste estudo, acredita-se que o mesmo se coloca como um modelo com diversas contribuições para a identificação de áreas de risco a escorregamentos.

Palavras-chave: Modelagem; MDE; Escorregamentos; PALSAR/ALOS.

ABSTRACT

The contributions from the use of geotechnical tools for the analysis of phenomena in the terrestrial surface are diverse for geographic studies. In addition to enabling a broader and more in-depth study of a particular area or process, these tools provide the basis for and provide knowledge and research in areas of data deficiencies or deficiencies. Therefore, due to the difficulties inherent in the collection and acquisition of data and physical elements, defined by the high cost, lack of infrastructure and resources, geotechnologies find a solution to meet the needs of this type of problem. In this sense, the research was structured through two main objectives, which went parallel and complement each other at the end. The first one was the comparison between the altimetric products from the PALSAR (lower resolution) and LiDAR (higher resolution) sensors in order to assess the quality of the results generated by the PALSAR sensor altimetry product in the identification of areas that are likely to occur landslides. The second objective was based on the application of the altimeter product of the PALSAR sensor for the Zoning of Risk Areas to Sludge in the Ribeirão dos Henriques (BHRH) and Ribeirão dos Palmares (BHRP) Hydrographic Basins located in the municipality of São João Nepomuceno- MG, this area has a lack of database. In general, it was found that despite the PALSAR product, not having the same accuracy and detail of the LiDAR, both presented several similarities. However, the evaluation of the homogeneity of data through the application of Coefficient of Determination (R^2) and Pearson's Correlation Coefficient (r), as well as of the errors by Mean Absolute Error (MAE), Mean Relative Error (MRE) and the Root Mean Square Error (RMSE), demonstrated that both products show strong similarity. It should be noted that the Zoning of Risk Areas, generated from the Weighted Overlap method, between the Stability Index map and the Use, Coverage and Occupancy map of the surface, presented strong responses in the identification of risk areas to landslide in the Watershed Basins investigated, since, when analyzing the scars of past landslides in the area, a great part of them were evidenced on regions considered "High" or "Highest" Risk the occurrence of landslides. In view of the above, it was considered that the existing MOU in PALSAR / ALOS presents acceptable and convincing results to be applied in identifying areas susceptible to landslides, especially in places that do not have a satisfactory database. Finally, of the materials used, and of the methodology that was applied for the development of this study, it is believed that it is a model with several contributions for the identification of areas of risk to landslides.

Keywords: Modeling; MDE; Slides; PALSAR / ALOS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem registrada na Rua Coronel José Mendes, retratando a ocupação da base e topo da encosta.....	22
Figura 2: Imagem panorâmica registrada da Rua Antônio Salvador, assinalando a densa ocupação de uma encosta no bairro Santa Terezinha.....	22
Figura 3: Imagem assinalando a ocupação na Rua Coronel Augusto Pacheco Resende, com a existência de cortes na vertente e vegetação no topo.	22
Figura 4: Imagem obtida da Rua Sebastião Costa Leite, mostrando a ocupação em uma encosta com o solo exposto e com registros de erosão causados por cortes no talude.	22
Figura 5: Velocidade das taxas de movimentos e variação do conteúdo d'água como uma das variadas formas de classificar e subdividir os principais tipos de movimentos de massa, segundo Robert Christopherson. (a) Deslizamento; (b) Rastejamento; (c) Fluxo de lama.	42
Figura 6: Esquema de Queda de Bloco de Solo e/ou Rocha.....	44
Figura 7: Esquema de Tombamentos de Bloco de Solo e/ou Rocha..	45
Figura 8: Esquema de Escorregamento Planar ou Translacional de Solo e/ou Rocha.....	46
Figura 9: Esquema de Escorregamento Circular ou Rotacional de Solo e/ou Rocha..	47
Figura 10: Esquema de Escorregamento em Cunha ou Estruturado de Solo e/ou Rocha.....	48
Figura 11: Esquema de Espalhamento de Solo e/ou Rocha.....	49
Figura 12: Esquema de Escoamento ou Corridas de Massa de Solo e/ou Rocha.	50
Figura 13: Esquema de Rastejos de Solo e/ou Rocha.....	51
Figura 14: Estados de estabilidade e fatores desestabilizadores dos movimentos de massa..	54
Figura 15: Relação entre perigo e risco..	67
Figura 16: Classificação dos Riscos Ambientais, segundo Cerri (2001).	68
Figura 17: Representação de modelo de estabilidade de vertente infinita.....	78
Figura 18: Representação do modelo hidrológico.	79
Figura 19: Igreja Matriz de São João Nepomuceno, já com algumas residências construídas no início do século XX.....	84
Figura 20: Imagem de <i>Ján de Nepomucký</i> , santo mártir tcheco que dá nome a cidade, aposto no altar da Igreja Matriz.	84
Figura 21: Complexo fabril da Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento, final do século XIX e início do século XX. Fonte: Costa (2016b).....	89
Figura 22: Localização do município de São João Nepomuceno.	96
Figura 23: Divisão distrital do município de São João Nepomuceno, segundo o PMSB.....	97
Figura 24: Variação Hipsométrica do município de São João Nepomuceno-MG.....	99
Figura 25: Distribuição e localização das Unidades Geomorfológicas no município de São João Nepomuceno-MG, segundo o PMSB.....	102
Figura 26: Litotipos presentes no município de São João Nepomuceno-MG.....	105
Figura 27: Classes de Solos presentes no município de São João Nepomuceno-MG.	107
Figura 28: Distribuição e localização das classes de uso e cobertura da terra no município de São João Nepomuceno-MG, segundo o PMSB.....	109

Figura 29: Localização da área de estudo, definidas pela delimitação das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares.....	111
Figura 30: Hipsometria da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.....	112
Figura 31: Declividade da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.....	113
Figura 32: Representação de algumas localidades presentes nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares, que exemplificam a conformação do relevo existente na área de estudo.....	114
Figura 33: Cicatrizes de Escorregamentos observadas dentro das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.	115
Figura 34: Exemplos de Cicatrizes de Escorregamentos observadas dentro das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares. 1 – Escorregamento Natural Antigo; 2 – Escorregamento Induzido Recente; 3 – Escorregamento Natural Antigo.....	117
Figura 35: Litologia da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.....	119
Figura 36: Pedologia da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.....	120
Figura 37: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera em Juiz de Fora, no âmbito regional e local..	125
Figura 38: Localização e caracterização dos pontos de coleta de solos, dentro do limite das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares.	132
Figura 39: Horizonte de coleta do Ponto 1.	134
Figura 40: Horizontes de coleta do Ponto 2.....	134
Figura 41: Sacos plásticos com os solos coletados.	135
Figura 42: Exemplo de uma das amostras colocada para a secagem higroscópica.....	136
Figura 43: Almofariz e Mão de Gral, utilizados para o destorroamento dos solos.....	136
Figura 44: Materiais utilizados para a coleta de amostras indeformadas.....	138
Figura 45: Alinhamento da superfície para a coleta de solo por meio dos cilindros.	138
Figura 46: Processo de cravação dos cilindros, durante a coleta das amostras indeformadas.....	139
Figura 47: Equipamento utilizado para realização dos ensaios de Cisalhamento.....	140
Figura 48: Comparativo do fator Saturação, entre sensores LiDAR e PALSAR na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera.....	149
Figura 49: Comparativo do fator Declividade (%), entre sensores LiDAR e PALSAR na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera.	150
Figura 50: Mapa de Estabilidade de Encosta na BHTC, e a definição de todas as classes de estabilidade.....	152
Figura 51: Mapa de Uso e Cobertura e Ocupação da Superfície, nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.	155

Figura 52: Mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da Superfície, nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, com o registro das cicatrizes de escorregamentos mapeadas.	157
Figura 53: Mapa de Índices de Estabilidade do relevo para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, com as cicatrizes de escorregamentos e a definição das classes de estabilidade existentes.	159
Figura 54: Comparativo entre Mapa de Índices de Estabilidade e a Declividade do Relevo para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.	160
Figura 55: Exemplos de área de “fundo de vale”, obtidas próximas ao trevo de acesso à cidade de São João Nepomuceno, as quais de acordo com o modelo SINMAP, foram classificadas dentro das classes “Estável” e “Moderadamente Estável”.	163
Figura 56: Exemplos de área de vertentes, obtidas ao longo da área de estudo, as quais de acordo com o modelo SINMAP, foram classificadas dentro das classes “Baixa Estabilidade” e “Baixa Instabilidade”.	164
Figura 57: Exemplos de área de vertentes, obtidas ao longo da área de estudo, as quais de acordo com o modelo SINMAP, foram classificadas dentro das classes “Instáveis” e “Moderadamente Instáveis”.	165
Figura 58: Reclassificação dos Índices de Estabilidade do modelo SINMAP, para somente duas classes de análise: Áreas “Instáveis” e Áreas “Estáveis”, correspondentes ao relevo nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.	166
Figura 59: Gráfico com porcentagem das áreas relativa a classe “Instáveis” e a classe “Estáveis” observadas no mapa da Figura 58.	166
Figura 60: Espacialização das Classes de Risco a Escorregamentos para os limites das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, com as cicatrizes de escorregamentos existentes.	168
Figura 61: Comparativo entre Mapa de Índices de Estabilidade e as Áreas de Risco a Escorregamentos para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.	171
Figura 62: Exemplo de uma área considerada de “Altíssimo Risco”, a partir da correlação entre os tipos de uso e cobertura da superfície e os Índices de Estabilidades definidos pelo modelo SINMAP.	172
Figura 63: Exemplo de uma região onde se pode observar classes de “Baixo” Risco, a partir da correlação entre os tipos de uso e cobertura da superfície e os Índices de Estabilidades definidos pelo modelo SINMAP.	172
Figura 64: Exemplo de uma área considerada de “Médio” Risco, dentro do espaço urbano, a partir da correlação entre os tipos de uso e cobertura da superfície e os Índices de Estabilidades definidos pelo modelo SINMAP.	173

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Possíveis Causas de movimentos de massa segundo Cruden e Varnes, 1996.....	55
Tabela 2: Principais parâmetros de entrada do modelo SINMAP, de acordo Pack <i>et al.</i> (2005).....	77
Tabela 3: Classes dos índices de Estabilidade de Encostas. Fonte: Nery (2011) adaptado de Pack et al. (1998).....	79
Tabela 4: Evolução da População rural e urbana de São João Nepomuceno entre 1940 e 2010.	93
Tabela 5: Distribuição da População no Município de São João Nepomuceno, segundo IBGE (2010).	98
Tabela 6: Quantitativo da área ocupada por cada uma das Unidades Geomorfológicas presentes no Município de São João Nepomuceno, segundo PMSB (2014).	101
Tabela 7: Parâmetros de entrada para simulação do modelo SINMAP, na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera (BHCT). Fonte: adaptado de Costa (2016a).....	127
Tabela 8: Índices Físicos obtidos a partir das amostras de solos deformadas.....	141
Tabela 9: Parâmetros de Resistência obtidos a partir das amostras de solos indeformadas.....	141
Tabela 10: Parâmetros de entrada utilizados na aplicação do modelo SINMAP, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.....	142
Tabela 11: Atribuição de Pesos e Notas para elaboração de um Zoneamento de Risco a Escorregamentos para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.	145
Tabela 12: Quantitativo de <i>pixels</i> referente a cada uma das classes presentes nos mapas de declividade e de estabilidade de encosta.	153
Tabela 13: Resumo as técnicas de avaliação estatística entre os dados PALSAR e LiDAR	154
Tabela 14: Quantitativo das áreas e porcentagem de cada classe observada no mapa de uso, cobertura e ocupação.....	156
Tabela 15: Quantitativo das áreas e porcentagem, para cada classe de estabilidade observada no mapa de Índices de Estabilidade do relevo nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.....	162
Tabela 16: Quantitativo das áreas e porcentagem, para cada classe de risco a escorregamento, observadas no mapa de Áreas de Risco nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.....	169
Quadro 1: Localização, Tipo e Caracterização das Cicatrizes de Escorregamentos identificadas nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares.....	116
Quadro 2: Identificação da Classes de Risco a Ocorrência de Escorregamentos e suas características.....	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS – da sigla em inglês, Advanced Land Observation Satellite

ABDN – Atlas Brasileiro de Desastres Naturais

BHCT – Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera

BHRH – Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Henriques

BHRP – Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Palmares

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

CFTS – Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

EMA – Erro Médio Absoluto

ERM – Erro Relativo Médio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LIDAR – da sigla em inglês, Light Detection And Ranging

MDT – Modelos Digitais de Terreno

MDS – Modelos Digitais de Superfície

MNT – Modelos Numéricos de Terreno

MDE – Modelo Digital de Elevação

MG – Minas Gerais

ONU – Organização das Nações Unidas

PALSAR – da sigla em inglês, Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

PJF – Prefeitura de Juiz de Fora

PMSJN – Prefeitura Municipal de São João Nepomuceno

R - Correlação de Pearson

R^2 - Coeficiente de Determinação

REQM – Raiz do Erro Quadrático Médio

SINMAP - Modelo Estocástico de Mapeamento de Índices de Estabilidade em Encostas

SJN – São João Nepomuceno

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UNFPA – Fundo de População das Nações Unidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Hipótese e Justificativa.....	21
1.2	Problematização	25
2	OBJETIVOS.....	27
2.1	Objetivos Gerais.....	27
2.2	Objetivos Específicos.....	27
3	REVISÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
3.1	Levantamentos Topográficos: surgimento e aplicabilidade	28
3.2	Movimentos de Massa e sua relação com a sociedade.....	31
3.2.1	Movimentos de Massa e sua ocorrência no Brasil	32
3.2.2	Movimento de Massa: uma discussão epistemológica acerca do surgimento do conceito e definição.	35
3.2.3	Os diferentes tipos e classificações de Movimentos de Massa existentes e suas principais características.	40
3.2.4	Fatores condicionantes dos Movimentos de Massa.....	53
3.3	Uso, parcelamento e ocupação do solo urbano: regulamentações e conflitos.....	58
3.4	Escorregamentos e a sua relação com o Risco.	66
3.5	Modelagem Matemáticas para análise de Estabilidade de Encostas.	70
3.5.1	Tipos de Modelos Matemáticos utilizados para a identificação de áreas propensas à ocorrência de escorregamento:.....	74
3.5.2	Modelo SINMAP	76
4	CONHECENDO O MUNICÍPIO DA ÁREA DE ESTUDO.....	81
4.1	São João Nepomuceno: seu surgimento e primeiros topônimos	81
4.2	Os “(des)caminhos” de São João Nepomuceno até sua consolidação política e administrativa enquanto município.	85
4.3	A urbanização: relação entre a indústria têxtil e a ocupação territorial.....	87
4.4	Município de São João Nepomuceno: Localização e Características Físicas.	95
4.4.1	Localização e População	95
4.4.2	Características Físicas do Município.....	98
4.4.2.1	Relevo e Geomorfologia	98
4.4.2.2	Geologia	103
4.4.2.3	Solos.....	106
4.4.2.4	Clima e Vegetação	108

4.5	Área de Estudo: Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares	110
5	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	121
5.1	Produto altimétrico do sensor PALSAR.	121
5.2	Produto altimétrico do sensor LIDAR.....	123
5.3	Procedimentos Metodológicos.	124
	1ª ETAPA:.....	124
	2ª ETAPA:.....	129
	3ª ETAPA:.....	130
	4ª ETAPA:.....	143
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	148
6.1	Análise comparativa entre os produtos Altimétricos do sensor PALSAR e do sensor LiDAR	148
6.2	Mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques (BHRH) e do Ribeirão dos Palmares (BHRP).....	155
6.3	Índices de Estabilidade das áreas propensas a escorregamentos, a partir da aplicação do SINMAP, para a área relativa às Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.	159
6.4	Zoneamento de Risco a Escorregamentos, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, a partir da sobreposição do mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície com o mapa de Índices de Estabilidade.....	168
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	175
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	178
9	ANEXOS.....	192

1 INTRODUÇÃO

Dados da Organização das Nações Unidas (ONU), através do Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA, s/d)¹, mostram que a população mundial, de 1950 a 2011, passou de 2,5 bilhões para 7 bilhões de indivíduos, causando assim grande modificação na paisagem (QUINA, 2016). Além disso, Barbosa e Nascimento Junior (2009) destacam que diante do incremento dessa população, principalmente nas áreas urbanas, observou-se um inchaço das cidades em um curto espaço de tempo, o que conseqüentemente gerou assentamentos humanos que em sua maioria foram construídos de forma desordenada e com estruturas precárias.

Tal fenômeno destacado em escala mundial, também pode ser observado no Brasil. Segundo o IBGE², a partir de 1970, mais da metade da população brasileira já se encontrava nas cidades. Segundo o censo demográfico de tal década, mais de 55% dos indivíduos residentes no Brasil já se situavam em áreas consideradas urbanas.

Esse deslocamento populacional para as cidades, segundo Alves, Souza e Marra (2011), além de outros motivos, foi impulsionado em decorrência da forte industrialização que se deu principalmente na região Sudeste, iniciada em 1930 no primeiro mandato de Getúlio Vargas, e se intensificando durante o período de 1950-1980, onde diversas políticas de industrialização voltadas para a substituição de importação se intensificaram, atraindo assim um número significativo de migrantes para as regiões Sul e Sudeste do país.

Segundo Bambiarrá (s/d), outro fator que se destaca foi à falta de uma reforma agrária distributiva (estrutura fundiária monopolizada), que juntamente com a produção em série de máquinas agrícolas e também o fenômeno da grilagem das terras, impossibilitou a manutenção da vida no meio rural.

À medida que há uma saída do homem do campo e ao mesmo tempo uma multiplicação e expansão desses indivíduos nas cidades, estudos socioambientais tornam-se importantes e se colocam como um dos principais objetos de pesquisa da área geográfica. Nesse contexto geral, a Geografia acaba sendo considerada uma ciência que historicamente se volta para as relações existentes entre sociedade e natureza. Na tentativa de compreender como se efetiva a integração do homem-meio, o Geógrafo se ampara em estudos e pesquisas que demonstram a influência humana sobre a natureza e vice-versa (QUINA, 2016).

¹ Disponível em: <http://www.unfpa.org.br/novo/index.php/populacao>. Acessado em: 20 dez. 2017.

² IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

A ocupação desordenada das cidades, além de outras consequências, traz consigo uma visível transformação do meio ambiente, fato esse que acarreta diversas alterações no comportamento da superfície. Monteiro (1976) ao se referir a ocupação do meio urbano, já abordava e alertava sobre os problemas provocados por tal fenômeno.

Seja pela implosão demográfica, seja pela explosão das atividades, os espaços urbanos passaram a assumir a responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente. (MONTEIRO, 1976, p.54).

A instalação em grande escala da população no ambiente urbano, somado à ineficiência do planejamento urbano e a má gestão pública dos recursos presentes nesses espaços, provocou e ainda provoca uma série de problemas, tanto de ordem social (mau ordenamento e planejamento de cidades, ocupação de áreas irregulares, disseminação de doenças, má distribuição de serviços, desconforto térmico, alimentos, água, etc.), quanto de ordem ambiental (movimentos de massa, desmatamentos, queimadas, poluição de rios, resíduos sólidos, dentre outros), que precisam ser identificados, discutidos e resolvidos.

Diante desses problemas levantados, observa-se que existe por parte dos órgãos governamentais uma falta de fiscalização e de estudos das áreas e espaços que eles administram. Ações de planejamento e intervenção urbanas sobre a cidade devem ser constantemente discutidas pelo poder público, conjuntamente com órgãos privados, com o intuito de diminuir a vulnerabilidade destes espaços urbanos, de comunidades, e de pessoas frente às ameaças de problemas sócio-ambientais.

Desastres naturais em ambientes urbanos ocorrem independentemente do tamanho e da hierarquia das cidades. Nesse sentido, Bustamante (2010), define os desastres naturais como resultado do impacto de um fenômeno/evento natural extremo ou intenso, sobre um sistema social, que pode vir a causar sérios danos e prejuízos, que excedam a capacidade dos afetados em conviver com tal realidade.

Tominaga (2009a) destaca ainda que diversos são os fenômenos naturais que provocam desastres naturais, desde inundações, escorregamentos, tempestades, terremotos, até mesmo estiagens, erosões, dentre outros. Porém, a autora alerta que elementos humanos também têm aumentado a probabilidade de situações de risco à ocorrência de desastres naturais, segundo a autora:

Além da intensidade dos fenômenos naturais, o acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco a desastres naturais. (TOMINAGA, 2009a, p.13)

De outubro de 2010 a maio de 2011, foi desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (2011), através do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (ABDN) de 1990 a 2010. Neste, encontram-se descritos os principais desastres registrados (divididos em 12 classes) durante o período analisado em todo território nacional, caracterizados e identificados a partir de documentos oficiais de “registros de desastres” disponibilizados pelas Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil.

A exposição do referido estudo se faz pertinente, pois além de ser o único estudo de desastres naturais que abarca todo o território nacional, este também apresenta a identificação em nível municipal de cada uma das ocorrências referentes aos desastres naturais observados.

Contudo, o estudo alerta para a importância de se desenvolver pesquisas e trabalhos também em municípios de pequeno porte, uma vez que os registros apresentados no atlas comprovam a existência de eventos indesejáveis que causam e acarretam danos e prejuízos para as populações residentes em centros urbanos localizados nestes municípios considerados de menor porte.

Os termos “cidades de pequeno porte” ou “municípios de pequeno porte” serão frequentemente utilizados no decorrer desse estudo, os quais são caracterizados, segundo o IBGE, quanto ao número de habitantes, sendo definido para tais localidades um total de até 50 mil habitantes.

Desenvolver estudos nesses espaços vem do interesse em buscar alternativas e novas perspectivas que possam vir a suprir de maneira satisfatória e aceitável a carência de dados detalhados para essas localidades, uma vez que os pequenos municípios como colocado por Bacelar (2010), “são a maioria no território brasileiro” em quantidade e, portanto, merecem uma condigna atenção.

Contudo, a principal dificuldade presente para a realização de estudos em municípios de menor porte, de maneira ampla, perpassa pela falta de dados e informações com detalhes que forneçam subsídios para o desenvolvimento de estudos em diversos segmentos da ciência, nessas áreas. Tais carências de dados, muita das vezes, são explicadas pela falta de interesse do poder público e também pelo alto custo exigido para realizar estudos de caráter ambiental, tanto nos municípios de pequeno, quanto nos de médio porte.

No entanto, vale destacar que com o avanço de novas tecnologias e técnicas computacionais, associados a modernos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), tal realidade tem-se modificado. A utilização de satélites, radares e sensores orbitais, por exemplo, tem possibilitado um maior conhecimento e maior aquisição de dados sobre uma

determinada área, principalmente no que diz respeito a dados físicos e geoambientais (FERNANDES et al., 2001).

Consideradas um conjunto de tecnologias onde se torna possível coletar, processar e analisar informações referenciadas no espaço, as geotecnologias proporcionaram um acréscimo notável no que se refere ao conhecimento, aquisição, acesso e armazenamento de dados e registros geoespaciais. Além disso, tais tecnologias se instituem como sendo importantes ferramentas para a tomada de decisões, gestão do espaço, meio ambiente, planejamento, dentre outros. (ROSA, 2005; POLIDORO E BARROS, 2010).

Com o avanço dos SIG, tecnologia esta que se encontra estabelecida dentro das geotecnologias (ZAIDAN, 2017), houve um notório e inegável avanço nas interpretações e representações dos fenômenos que atingem o espaço geográfico. Conjuntamente com o Sensoriamento Remoto, os SIG, podem ser considerados ferramentas importantes para fins de ordenamento territorial, análise e monitoramento ambiental (AQUINO; VALADARES, 2013).

As contribuições provenientes da utilização de ferramentas geotecnológicas para análise de fenômenos na superfície terrestre são diversas para estudos geográficos. Costa (2016a) destaca que a utilização de SIG como uma ferramenta importante para o geoprocessamento, possibilita dentre outras contribuições, uma interpretação conjunta de dados e/ou fenômenos ocorrentes em uma dada área geográfica. Essa análise conjuntural, portanto, confere aos SIG uma vantagem para análise quantitativa e qualitativa de dados em um único estudo, conferindo a essa tecnologia, multiplicidade de usos e funções.

Para estudos de encostas urbanas, por exemplo, áreas essas de interesse dessa pesquisa, Guerra (2011, p.16) aponta que existem diversos tipos de técnicas e métodos que podem ser utilizados por profissionais que estudam esses locais, e que tais técnicas e métodos serão alternados conforme o interesse e o tipo de estudo que se pretende desenvolver. Nesse contexto, Brito (2014), ressalta que diversas metodologias vêm sendo desenvolvidas a partir da utilização do geoprocessamento, para identificar, avaliar e mapear áreas propensas a ocorrência de movimentos de massa.

Dentre as técnicas que se constituem a partir da utilização de geoprocessamento e SIG, destaca-se a aplicação de modelagem matemática em bases físicas, como um método para a identificação de áreas propensas à ocorrência de escorregamentos translacionais rasos nos mais diversos ambientes (NERY, 2011; MICHEL, KOBAYAMA E GOERL, 2012, COSTA, 2016a).

Diante do exposto, os mapeamentos e investigações de áreas propensas à ocorrência de movimentos de massa em áreas urbanas, de maneira ampla, além de serem importantes para a gestão dos riscos nesses ambientes, auxiliando nas tomadas de decisões, orientações para o poder público e a população sobre o uso e ocupação nesses ambientes, os mesmo apontam para uma orientação e execução de estudos que necessitam de um maior detalhamento em locais específicos onde a probabilidade de ocorrência de um evento indesejável é evidente (GUERRA, 2011; RODRIGUES, 2013; BRITO, 2014).

1.1 Hipótese e Justificativa

A pesquisa se sustentou no interesse em desenvolver um zoneamento espacial e descritivo sobre o risco da ocorrência de escorregamentos nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, situadas no município de São João Nepomuceno (SJN).

A escolha da área de estudo se justifica pelo fato desta abarcar grande parte da área urbanizada da sede municipal. Com isso, diante do interesse em definir um limite legítimo que abarcasse a área urbana do distrito sede de São João Nepomuceno, optou-se por fazer a junção das duas Bacias Hidrográficas mencionadas acima, visto que conceitualmente as bacias hidrográficas, são consideradas unidades de planejamento e análise, o qual se organiza por um sistema de características físicas e naturais que são geograficamente delimitáveis.

A cidade de SJN se destaca por apresentar seu centro comercial e urbano em um fundo de vale (área mais plana), e alguns de seus bairros situados em encostas (áreas íngreme) e topos de morros presentes na área. Diante ao exposto, relativo à conformação do sítio ao qual perpassa a pesquisa, tem-se como principal hipótese a existência de áreas sujeitas à ocorrência de escorregamentos ao longo da área ocupada da sede municipal de São João Nepomuceno.

Em consonância com o que foi apresentado, vale aqui destacar que o município são-joanense encontra-se inserido dentro do domínio morfoclimático dos “mares de morros” (AB’SABER, 2003), onde é possível notar que boa parte de sua população residente em áreas urbanizadas, vem ao longo do processo histórico de ocupação, construindo suas moradias ao longo das vertentes presentes nestas áreas, fato este fortemente evidenciado na cidade de São João Nepomuceno.

A suspeita de que algumas moradias localizadas na cidade encontram-se situadas em áreas de risco de escorregamentos, se deu inicialmente a partir de observações acerca de algumas residências situadas em bairros da cidade, diante a morfologia do relevo que estas estão fixadas.

Algumas moradias, alocadas nessas partes mais íngremes da área urbana, e outras próximas ao “Ribeirão dos Henriques” que corta a cidade, encontram-se situadas em locais que podem vir a ser considerados impróprios ao assentamento humano por estarem sujeitas a risco de escorregamentos naturais ou decorrentes da ação antrópica. Tais localidades podem ser observadas e exemplificadas nas Figuras 1, 2, 3 e 4, registradas em alguns pontos da área urbana são-joanense, obtidas no dia 30/07/2017.

Assim, existindo a probabilidade de ocorrer ao processo que aqui se discute, os riscos e danos à população residente nessas áreas ou próximas a elas, se tornam evidentes, fato este que pode acarretar em prejuízos e perdas irreversíveis para as pessoas que ocupam tais localidades.

A pesquisa então se torna pertinente ao ponto que seria interessante fazer um levantamento e estudo dessas áreas, no sentido de alertar e tornar público, para a população e órgãos administrativos, locais onde possa existir a probabilidade de ocorrência de escorregamentos, tanto nas áreas onde existem moradias, quanto para aquelas onde ainda não há a ocupação por parte da população, mas que num futuro próximo possam vir a ser ocupadas.



Figura 1: Imagem registrada na Rua Coronel José Mendes, retratando a ocupação da base e topo da encosta.



Figura 2: Imagem panorâmica registrada da Rua Antônio Salvador, assinalando a densa ocupação de uma encosta no bairro Santa Terezinha.

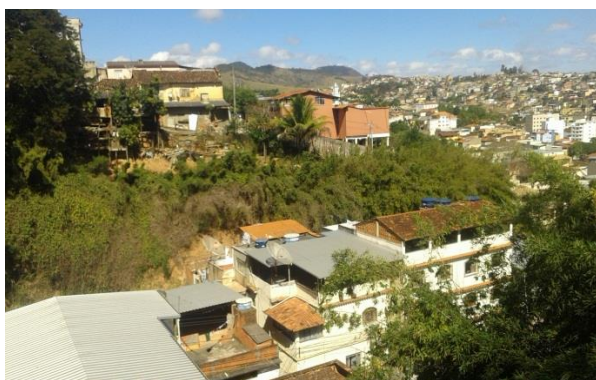


Figura 3: Imagem assinalando a ocupação na Rua Coronel Augusto Pacheco Resende, com a existência de cortes na vertente e vegetação no topo.



Figura 4: Imagem obtida da Rua Sebastião Costa Leite, mostrando a ocupação em uma encosta com o solo exposto e com registros de erosão causados por cortes no talude.

Vale ressaltar que na área urbana de São João Nepomuceno, não são frequentemente evidenciados problemas provenientes de enchentes e inundações, uma vez que, o único curso d'água que passa pelo centro da cidade (Ribeirão dos Henriques) é de pequena proporção (de ordem 3, na hierarquia de drenagem), e esse é quase que em sua totalidade canalizado e retificado, diminuindo ainda mais as chances de extravasamento de seu leito na área urbana da cidade.

Porém, fenômenos associados a movimentos de massa já foram constatados em alguns locais dentro da área definida para estudo. Foi então, a partir dessas ocorrências, somadas as observações do espaço urbano e ao interesse de identificar áreas vulneráveis à ocorrência do fenômeno estudado, que esta pesquisa se fundamentou.

Inclusive, apesar dos registros de enchentes e inundações serem modestos, moradias próximas aos cursos hídricos devem se atentar a ocorrência de solapamento basal, que podem ocasionar a instabilidade nas moradias, impulsionado pela dinâmica fluvial deflagrando assim movimentos de massa nessas localidades.

Sobre as ocorrências de escorregamentos na área de estudo, a principal que está diretamente ligada ao interesse de estudar tal área, aconteceu em 24/01/2005, quando um casal de idosos morreu soterrado após ter sua casa atingida pelo deslizamento de um barranco que tinha nos fundos da moradia³. Mesmo depois deste ocorrido, ainda nos dias atuais, próximo a este local, existem diversas moradias, tanto na base como na encosta da vertente, conforme pôde ser observada na Figura 1 (foto tirada próximo ao local onde houve o deslizamento em 24/01/2005).

Outro caso que chamou a atenção aconteceu em 16/07/2009, onde dois pedreiros ficaram soterrados por cerca de 30 minutos, devido a um deslizamento de terra sobre um muro o qual estes estavam construindo⁴. Na ocorrência, ambos os pedreiros tiveram somente ferimentos leves.

Diante da realidade existente na área urbana são-joanense, buscou-se através de visitas à Prefeitura e também à Defesa Civil do município, saber se havia algum tipo de estudo ou dados relacionados à identificação de áreas de risco a escorregamentos, ou algo do gênero, para a área urbana da sede municipal.

Em uma dessas visitas foi disponibilizado pelo então Secretário de Desenvolvimento Urbano, um relatório desenvolvido em fevereiro de 2014, que se referia à “Delimitação de

³ Fonte de acesso: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u104623.shtml> Visitado em: 10/06/2017.

⁴ Fonte de acesso: <http://www.otempo.com.br/cidades/pedreiros-ficam-soterrados-por-30-minutos-em-s%C3%A3o-jo%C3%A3o-nepomuceno-1.543566> Visitado em: 10/06/2017.

Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa”. Neste trabalho, executado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, foram encontradas durante a vistoria na área urbana de São João Nepomuceno, 5 (cinco) áreas situadas em bairros e na área central da cidade (ANEXO 1), onde foram classificadas aproximadamente 107 moradias como alto e muito alto risco de escorregamento.

Em contrapartida, nas visitas realizadas aos órgãos anteriormente mencionados, que gerenciam o espaço público são-joanense, constatou-se uma escassez e carência de dados e informações detalhadas, sobretudo, em bases físicas, tanto do espaço urbano, quanto do município como um todo. Além disso, os dados que foram disponibilizados apresentam um detalhamento muito exíguo para dar suporte ao fenômeno que aqui se busca desenvolver.

A falta de dados por parte dos gestores do espaço urbano, apesar de ser considerada por muitos, um obstáculo para o desenvolvimento de pesquisas, foi colocada como um desafio a ser superado nesse trabalho, sendo que tal realidade está presente na maioria dos municípios brasileiros, a se destacarem os de pequeno e médio porte.

Neste sentido, os resultados apontados no relatório do CPRM, somado as notícias referentes a escorregamentos ocorridos na área investigada, reforçam ainda mais a necessidade de se realizar pesquisas referentes a tais eventos, uma vez que esses também acontecem em cidades de pequeno porte como é o caso de São João Nepomuceno, e podem por em risco a população residente nessas localidades.

Além disso, acredita-se que estudos que visam o levantamento de áreas de riscos em municípios, independentemente de seu porte, são importantes tanto para melhoria da qualidade de vida e segurança da população, quanto para possíveis intervenções que possam vir a existir no futuro, principalmente, no que diz respeito ao planejamento urbano da cidade, como por exemplo: áreas de expansão populacional, industrial e comercial, delimitação de áreas proteção permanente, dentre outros.

Tomando como base ainda o estudo que já foi realizado pela CPRM, essa pesquisa vem no sentido de acrescentar à temática dos riscos provenientes dos movimentos de massa em parte da área urbana de São João Nepomuceno. Contudo, acredita-se que será de grande valia para a população residente, bem como para os setores públicos e privados que se preocupam e tem como função gerir o espaço urbano do município.

Tal trabalho inclusive poderá se concretizar como piloto para outros municípios que apresentam uma realidade similar à encontrada na área estudada, onde as ocorrências de movimentos de massa são periódicas e a deficiência de dados para ter uma identificação mais

precisa das áreas propensas ao acontecimento desses processos é observada nessas municipalidades.

1.2 Problematização

A investigação desta pesquisa foi construída empiricamente a partir de observação, e posterior, identificação de locais dentro da cidade de São João Nepomuceno-MG os quais se acredita na probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Através de tal percepção, gerou uma inquietação que vem sendo a principal condutora dessa dissertação, “*do porque ainda não se tem um estudo relativo a escorregamentos na área em estudo?*”, uma vez que o risco de tal processo afetar parte da população é nítido “aos olhos” de qualquer pessoa ou observador em locais dentro da cidade, sendo inclusive corroborada com registro de episódios anteriores, até mesmo com o registro de óbito.

Nesse sentido, buscando contribuir com a exiguidade de estudos relacionados a processos de movimentos de massa em município de pequeno porte, que essa pesquisa se fundamenta.

Inerente a esse intuito, o maior problema para a criação e elaboração de trabalhos que tem como foco a análise de fenômenos e processos relacionados ao meio ambiente, está na carência de bases de dados com detalhes para se realizar tais estudos, como se encontra evidenciado ao longo deste trabalho.

Quando se refere às pequenas cidades existentes dentro de cada limite municipal no Brasil, algumas delas se comportam como sendo “cidades locais”, destacando-se como “cidades econômicas”, tendo seu funcionamento e desenvolvimento em torno de alguma atividade fabril local ou impulsionadas pela produção agrícola, atendendo a população com atividades de serviços e de estoque para meios de consumo (SANTOS, 1996).

Diante dessa realidade, Bacelar (2010) afirma que a base produtiva e de empregos dessas localidades de pequeno porte é reduzida, e seus habitantes vivem quase que em total estado de dependência do poder público, exemplificado pelas prefeituras.

Contudo, visto que os recursos e o orçamento desses municípios muitas das vezes são escassos e reduzidos, devido à falta de serviços e fontes substanciais para gerarem receitas internas, é praticamente inviável e improvável de se pensar que tais localidades invistam e realizem estudos ambientais, mesmo que sejam para seu espaço urbano, ou para o município como um todo.

Somado a isso, o alto custo para realizar tais pesquisas e análises físico-ambientais, como por exemplo, um levantamento topográfico de detalhe (*vide* o valor de aproximadamente R\$ 4,5 milhões, assinado pela Prefeitura de Juiz de Fora, para fazer o

Levantamento Aerofotogramétrico de seu município⁵), torna-se cada vez mais uma realidade inacessível para essas pequenas cidades, embora tais estudos possam trazer melhorias para a segurança e qualidade de vida da população.

Ciente da falta de dados pelos motivos já destacados, a pesquisa então se sustentou na tentativa de aplicação de dados topográficos alternativos de maior detalhamento, oriundos de imagens de satélites livres e disponíveis para *download*, para o zoneamento de áreas de risco a escorregamentos para cidades e/ou municípios de pequeno porte, utilizando-se da modelagem estatística.

A utilização desses produtos topográficos alternativos e gratuitos se deu por dois principais motivos. O primeiro deles, como já abordado, está na inexistência de dados topográficos com detalhes por parte do poder público municipal, que forneça um suporte aceitável para o desenvolvimento da pesquisa. Concomitantemente, o segundo motivo vai ao sentido de tentar abrir um novo horizonte para estudos relacionados a movimentos de massa em municípios de pequeno porte, uma vez que, caso a utilização desses produtos topográficos se torne viável e apresente uma boa resposta para a identificação de escorregamentos, os mesmos podem vir a suprir de maneira suficiente e aceitável a carência de levantamentos topográficos com detalhes para grande parte dos municípios brasileiros.

Neste sentido, a pesquisa se fundamenta principalmente no interesse de avaliar um produto altimétrico alternativo, para sua posterior utilização na identificação e zoneamento de áreas de risco a escorregamentos, a partir de modelagem computacional. Podendo inclusive a metodologia que aqui será desenvolvida, ser replicada e utilizada em localidades que apresentem uma escassa base de dados com detalhes, principalmente topográficos, para a realização de tais estudos.

Para tanto, tomou-se como área *core*, duas Bacias Hidrográficas vizinhas, que englobam parte da área urbana da sede municipal de São João Nepomuceno, para a aplicação do modelo de estabilidade de encostas.

Parte-se do princípio que um levantamento de maiores informações e um melhor conhecimento de áreas de riscos a escorregamentos, são importantes para futuras intervenções do espaço urbano, visando assim uma melhor organização desses espaços e também para um melhor bem-estar da população residente nestas áreas.

Acredita-se ainda, que devido ao estudo ser aplicado e desenvolvido em um município de pequeno porte, ações que visam controlar e ordenar territórios e espaços urbanos tendem a

⁵ Link da notícia com o descritivo do Levantamento Aerofotogramétrico feito pela Prefeitura de Juiz de Fora: <https://www.pjf.mg.gov.br/noticias/view.php?modo=link2&idnoticia2=13772>

ser mais fáceis de serem geridas, do que em cidades de maior porte. Tanto pela maior proximidade entre a população e o poder público, como pela menor quantidade de pessoas a serem remanejadas/relocadas, caso determinada área seja considerada de risco. Situação esta, mais difícil de ser contornada nos grandes centros urbanos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Em particular, a pesquisa se estruturou por meio de dois objetivos principais os quais caminharam paralelamente e se complementam ao final desta pesquisa. O primeiro deles foi a comparação entre os produtos altimétricos provenientes dos sensores PALSAR (menor resolução) e LiDAR (maior resolução), a fim de aferir a qualidade dos resultados gerados pelo produto altimétrico do sensor PALSAR na identificação de áreas que possuem probabilidade à ocorrência de escorregamentos. E o segundo objetivo se baseou na aplicação do produto altimétrico do sensor PALSAR para o Zoneamento de Áreas de Risco a Escorregamentos nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques (BHRH) e do Ribeirão dos Palmares (BHRP), localizadas no município de São João Nepomuceno-MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar e analisar o MDE do sensor PALSAR, com um MDE do sensor LIDAR, em uma área que contemple ambos, a fim de avaliar se o produto altimétrico investigado apresenta uma resposta satisfatória e aceitável para a aplicação em um modelo de predição de escorregamentos.
- Produzir o mapa de uso, ocupação e cobertura da superfície na área estabelecida, e destacar os locais com incongruência de uso (impróprias à ocupação), tomando como base a legislação de uso e parcelamento do solo vigente.
- Desenvolver por meio da modelagem preditiva de estabilidade, um mapa que represente os índices de estabilidade das áreas propensas a escorregamentos para as bacias hidrográficas definidas como área de estudo.
- Elaborar o Zoneamento de Risco de Escorregamentos para a área estudada, a partir da correlação entre o mapa de uso, ocupação e cobertura, com o mapa de modelagem de estabilidade de encosta.

3 REVISÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico encontram-se discutidos os temas e assuntos referentes a 5 (cinco) grupos norteadores dessa pesquisa, os quais serão destacados:

1º Grupo: Apresentação acerca dos Levantamentos Topográficos: procedimentos, formas de extração da altimetria, modificações e evoluções realizadas nos métodos de aquisição de dados altimétricos ao longo dos anos.

2º Grupo: Discussões temáticas envolvendo os Movimentos de Massa, conforme consta em bibliografias nacionais e internacionais, sendo divididos em subtópicos e analisados de maneira específica.

3º Grupo: Argumentação e exposição acerca do que consta na legislação brasileira, relativo às normatizações que envolvem o Uso e Ocupação dos Solos Urbanos.

4º Grupo: Concentra-se na apresentação do conceito de Risco e suas divisões, paralelamente a vinculação deste com os processos de escorregamentos em áreas urbanas.

5º Grupo: Corresponde à explanação relativa à utilização da Modelagem Matemática para estudos de estabilidade em encostas, destacando assim quais os tipos existentes, bem como os modelos utilizados para tal finalidade.

3.1 Levantamentos Topográficos: surgimento e aplicabilidade

A representação gráfica da superfície terrestre tornou-se importante desde o momento em que o homem passou a ter necessidades de deslocamento, “abandonando a vida nômade e se fixando em determinadas regiões” (ZUCCHI NETO, 2017).

Os modelos de perspectiva da superfície terrestre conhecidos como Modelos Digitais de Terreno (MDT) ou Modelos Digitais de Superfície (MDS), “fazem referência à aquisição, processamento e utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, graficamente, o relevo da superfície terrestre.” (ASPIAZÚ; ALVES; VALENTE, 1990, p.28).

Representados por um sistema de coordenadas, os Modelos Digitais do Terreno, se caracterizam por reproduzirem, através da distribuição espacial, variadas propriedades do terreno, tendo como exemplo, os tipos de solos, litologia, clima, uso e ocupação da terra, elevação, dentre outros. Neste sentido, quando se utiliza do termo Modelo Digital de Elevação (MDE), refere-se a um subconjunto dos modelos digitais do terreno, que tem como fator de destaque a elevação (ASPIAZÚ; ALVES; VALENTE, 1990; DOYLE, 1978; MIKHAIL et al., 1978).

Tomando como base os métodos de obtenção dos Modelos Digitais de Elevação, os mesmos passaram por constantes modificações ao longo dos anos. Nelson *et al.* (2009), apontam que existem 3 (três) fontes possíveis para a aquisição dos MDE's. A primeira técnica que os autores apontam são os levantamentos de campo, o qual perpassa pela aquisição de pontos precisos de latitude (X), longitude (Y) e elevação (Z). Já a segunda se concentra na análise de mapas topográficos criados a partir da derivação de pontos cotados, curvas de níveis, linhas de drenagem e lagos. E por fim, o terceiro método, é relativo à aquisição de dados altimétricos, por meio do sensoriamento remoto, proveniente da interpretação de fotografias aéreas, imagens de satélites, e mais recentemente dos levantamentos a laser (SILVEIRA; SILVEIRA, 2015).

Aspiazú; Alves; Valente, (1990) destacam que as primeiras aquisições de dados altimétricos, eram por meio de mapas e levantamentos terrestres, técnica estas conhecidas como cartografia analógica ou convencional.

No século XIX, com a necessidade de ampliar os conhecimentos da superfície terrestre e também melhorar os levantamentos de dados altimétricos para fins de construção de estradas, vias de acesso, planejamento de cidades, guerras, etc., somado ao advento das fotografias, teve-se o início a cartografia conhecida como numérica.

Presente dentro desta cartografia computadorizada, que se baseava na aplicação e utilização da informatização de equipamentos e aquisição de dados, teve como destaque a aplicação da técnica da aerofotogrametria, a qual associa a aquisição de fotos aéreas para fins de observação e análise, e posteriormente, mapeamento de localidades.

Os primeiros registros de fotografias aéreas se deram por meio de balões, em meados do século XIX. O interesse em elevar a câmera fotográfica, veio no sentido de corrigir a não captura de algumas feições da paisagem, provocadas pelos “ângulos mortos”. A introdução de tal técnica tornou possível o registro instantâneo, e em perspectiva, de um conjunto de feições do terreno, que antes não era possível de ser observada (NOTAS DE AULAS).

Mais tarde, com o emprego de melhorias no mecanismo da aerofotogrametria, houve a introdução da “marca estereoscópica” que permitiu mensurações e análise de um par de imagens homólogas observadas através de um estereoscópio, que possibilitou a obtenção de informações tridimensionais de qualquer espaço na superfície terrestre (SISCOUTTO *et al.*, 2006)

A partir do século XX, um conjunto de tecnologias associadas à corrida espacial, proporcionou um acréscimo ainda maior e uma mudança notável no que se refere ao conhecimento, aquisição, acesso e armazenamento de dados e registros geoespaciais.

Técnicas de sensoriamento remoto caracterizam-se pela separação física entre o sensor (câmera fotográfica ou satélite artificial) e o objeto representado que está na superfície da Terra. Por meio de tais técnicas, obtêm-se as informações relativas ao objeto de estudo, através da radiação eletromagnética, refletida ou emitida pela superfície terrestre, que pode ser originada de fontes naturais ou artificiais (FLORENZANO, 2011).

Florenzano (2011, s/p), destaca que

O termo *sensoriamento* refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo *remoto*, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre.

Tanto as fotografias aéreas, resultantes da aerofotogrametria, quanto às imagens obtidas através de satélites artificiais, são consideradas os principais tipos de produtos do sensoriamento remoto.

Neste sentido, coloca-se que a origem do sensoriamento remoto está diretamente vinculada ao surgimento da fotografia aérea. Para Florenzano (2011), sua história pode ser dividida em dois períodos, o primeiro deles 1860 a 1960, baseado na utilização de fotografias aéreas, e o segundo de 1960 até os dias atuais, caracterizado pela variedade dos tipos de imagens obtidas por satélites, radares, sensores, etc.

Aquisições de parâmetros físicos ligados à superfície terrestre, devido aos avanços e as inovações do sensoriamento remoto, apresentaram uma grande evolução na obtenção de medidas, mensurações e objetos a serem aplicados não somente para dados de elevação, mas também para o mapeamento e modelagem aplicados à climatologia, pedologia, geomorfologia, litologia, dentre outros (SILVEIRA; SILVEIRA, 2015).

Além disso, com o refinamento das técnicas de informações espaciais (Sistema de Informações Geográficas – SIG, Posicionamento terrestre por satélite, Sensoriamento Remoto Orbital, Fotogrametria, etc.) a partir do século XX, muitas localidades, antes desconhecidas ou inexploradas, passaram agora a serem vistas, e conseqüentemente estudadas.

A utilização de câmeras de altas resoluções, acopladas à drones, aeronaves e espaçonaves, juntamente com a inserção de radares, sensores e raios laser em satélites, etc., forneceram e fornecem dados da superfície terrestre com altos níveis de detalhamento, sendo estes diretamente gerados em formato digital.

Informações capturadas por sensores acoplados em satélites, por exemplo, passaram a ser processadas digitalmente, que por sua vez, resultaram em imagens e produtos bastante

precisos, porém apresentam uma escala limitada variando de acordo com os sensores utilizados.

Com o avanço dos SIG, tecnologia esta que se encontra estabelecida dentro das geotecnologias (ZAIDAN, 2017), houve um notório e inegável avanço nas interpretações e representações dos fenômenos que atingem o espaço geográfico. Conjuntamente com o Sensoriamento Remoto, os SIG, podem ser considerados ferramentas importantes para fins de ordenamento territorial, análise e monitoramento ambiental (AQUINO e VALADARES, 2013).

Dando destaque aos Modelos Digitais de Elevação, Pinheiro *et al.* (2012) salienta que estes obtidos por sensoriamento remoto orbital na maior parte das vezes, encontram-se disponíveis mundialmente, com uma grande cobertura de área por cena, em contrapartida, os autores apontam que a qualidade das informações dependem de fatores como a rugosidade e a declividade do terreno.

Como exemplos de produtos altimétricos obtidos através de diferentes técnicas de Sensoriamento Remoto, em escala compatível para aplicação no planejamento do uso do espaço rural e urbano, gestão ambiental, manejo de bacias hidrográficas, etc., podemos citar os MDE's ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar).

3.2 Movimentos de Massa e sua relação com a sociedade

Neste segundo grupo, as temáticas envolvendo os Movimentos de Massa foram divididas em 4 (quatro) subtópicos. Em um primeiro momento serão destacados os casos de ocorrência de movimento de massa no Brasil, apontando algumas de suas principais causas e possíveis consequências para a população.

Na sequência, será discutido um pouco sobre a etimologia do conceito de movimentos de massa: sua definição, aparição e princípios. Neste segundo subtópico encontra-se constituído um debate referente à epistemologia do conceito, relatando assim um pouco da realidade científica que respaldou a construção do conceito e das várias classificações existentes.

No terceiro subtópico, a análise perpassa pela exposição das principais e mais utilizadas classificações sobre os movimentos de massa, apresentando os autores mais usados e citados, as variáveis e fatores determinantes que foram considerados para a fundamentação e

criação das várias classificações existentes e, por fim os principais tipos de movimentos de massa que se fazem presentes nessas classificações.

No quarto e último, o tema abordado refere-se aos principais fatores condicionantes de caráter físico e humano que são capazes de provocar e impulsionar processos relativos à ocorrência dos movimentos de massa.

3.2.1 Movimentos de Massa e sua ocorrência no Brasil

Segundo Fernandes e Amaral (1996), os movimentos de massa, em estudos realizados pela Defesa Civil da ONU em 1993, foi um dos principais causadores de mortes por desastres naturais que mais afetaram a humanidade, ficando atrás somente dos terremotos e das inundações.

No Brasil, devido às condições climáticas e atmosféricas, bem como a conformação do relevo (principalmente na parte Leste do território nacional, onde se encontram grande parte da população brasileira), a frequência de movimentos de massa é considerada alta, tanto pela ocorrência natural desse fenômeno, quanto pela sua incidência induzida pela ação humana. Observa-se, através de jornais, noticiários, trabalhos científicos, dentre outros, que a ocorrência desses processos não está restrita somente as grandes cidades, mas também com diversas ocorrências em municípios de médio e pequeno porte.

Vargas (2015, p. 14), caracteriza os movimentos de massa envolvendo terra e/ou rochas, associados diretamente com a sociedade. Segundo o autor:

A ocupação desordenada e acelerada reunida a elementos naturais como vertentes íngremes e chuvas concentradas pode ser, entre outros, os fatores determinantes para eventos catastróficos e/ou de grande intensidade relativos aos movimentos gravitacionais de massa.

Além de Vargas (2015), Sulaiman (2014, p.231) em uma discussão sobre os tipos de desastres naturais no Brasil, cita que a gravidade relacionada às ocorrências de escorregamentos de terra e/ou rocha, está na grande maioria das vezes associada e relacionada com a sociedade. Segundo a autora os movimentos de massa no Brasil “*Están relacionados con asentamientos precarios en zonas de laderas, ya que la población las adapta incorrectamente para la construcción de viviendas*”.⁶

Neste seguimento, Castro et al. (2003) define os movimentos de massa como sendo um “fenômeno provocado pela movimentação de materiais sólidos, solos, rochas, vegetação

⁶ Nota de tradução: Estão relacionados com assentamentos precários em áreas de declive acentuado, onde a população utiliza incorretamente para a construção de moradias.

e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados, denominados de encostas, pendentes ou escarpas”.

No Brasil, os estudos sobre deslocamento de massa se deram em meados do século XX, tendo como pioneiros trabalhos de Vargas e Pichler (1957), Freire (1965), Guidicini e Nieble (1976), esses últimos, através da publicação de seu livro intitulado “Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação”. Segundo Guidicini e Nieble (1976), os estudos sobre movimentos de massa no Brasil, só foram possíveis com o surgimento e entendimento da mecânica dos solos, que possibilitou o embasamento para o início dos estudos referentes à ocorrência de tais fenômenos no território brasileiro.

Os movimentos de massa em diversas localidades da superfície terrestre têm como catalizadores os abalos sísmicos e os vulcões. Já no Brasil, como não se tem corriqueiramente a ação desses dois fatores destacados, os principais fatores responsáveis pela ocorrência da erosão em solos nas encostas, segundo Guerra (1995), estão a erosividade das chuvas, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das encostas. Nesse sentido o autor complementa que “por causa da interação desses fatores que certas áreas erodem mais do que outras” (GUERRA, 1995, p.151), sendo que a intervenção do homem no meio pode apressar ou retardar a ocorrência desses processos.

Castro *et al.*, (2003) coloca que os movimentos de massa são nitidamente sazonais e guardam efetiva relação com os períodos de chuvas intensas e concentradas. Nessa linha de pensamento, Vestena (2010), coloca que esses fenômenos no Brasil estão quase sempre associados a eventos pluviométricos extremos.

Lopes (2006, p.31) destaca que o clima, enquanto um processo erosivo que contribui para a evolução natural das encostas tem “papel importante, tanto como agente predisponente, ou seja, como preparador do potencial de instabilização das encostas, quanto como causa imediata e deflagratória das instabilizações, geralmente na forma de intensas chuvas.”

Nesse contexto, Oliveira (2009) coloca que a água desempenha um papel fundamental, para a ocorrência dos movimentos de massa, uma vez que essas se alojam nos planos de ruptura dos solos e rochas, proporcionando a lubrificação destes, o que conseqüentemente diminui a resistência mecânica e as tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das vertentes. O referido autor ainda reforça que, tal processo descrito, somado a força da gravidade, peso dos solos e à inclinação e altura das encostas, se destacam como os principais fatores responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, que ainda podem ser agravados pela remoção da vegetação original e a ocupação humana.

No Brasil, devido ao grande número de ocorrência e também a recorrência de desastres naturais que trazem algum tipo de prejuízo socioeconômico para a população, foi criado em julho de 2011, por um Decreto Presidencial, o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN. A finalidade principal deste é reduzir o número de vítimas fatais e prejuízos materiais em todo o território brasileiro, provocados por desastres naturais (com destaque para as inundações e movimentos de massa). Para isso, esse centro realiza o monitoramento das ameaças naturais em áreas de riscos em municípios suscetíveis à ocorrência de desastres. Tal órgão, por sua vez, caracteriza os movimentos de massa como tendo vários sinônimos:

Movimento de Massa, também denominado como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros, se refere aos movimentos de descida de solos e rochas sob o efeito da gravidade, geralmente potencializado pela ação da água. (CEMADEN, 2011, s/p)

A partir dessa definição criada pelo CEMADEN, é possível observar que o termo “movimento de massa” pode ter diversas variações, nas quais envolvem uma gama de processos, fatores e materiais que se comportam como condicionantes dessas variações. Selby (1993, p.249) elenca alguns critérios que geralmente são utilizados para diferenciar e caracterizar os diferentes tipos de movimentos, dentre eles se destacam: “*velocity and mechanism of movement; material; mode of deformation; geometry of the moving mass; and water-content.*”⁷

No Brasil, episódios caracterizados como um dos diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa existentes são considerados desastres naturais, devido ao fato destes em muitas das vezes, causarem prejuízos socioeconômicos para a população afetada, propiciando inclusive vítimas fatais, nos locais que tais processos são verificados (VARGAS, 2015).

Santos (2012) apresenta que os movimentos de massa ocorrentes no território brasileiro, acontecem principalmente pelo conflito de dois aspectos, sendo: 1) incompatibilidade entre as técnicas de ocupação urbana e; 2) as características geológicas e geotécnicas dos terrenos onde essas construções são implantadas.

Nesse sentido, surgem duas situações que resultam da intervenção humana no meio físico. A primeira delas é a ocupação de áreas que devido a sua instabilidade natural, não poderiam ser ocupadas. E a segunda provém da ocupação de áreas que são passíveis de

⁷ Nota de tradução: “velocidade e mecanismo de movimentação, tipo de material, modo de deformação, geometria do movimento de massa e a quantidade de água”.

ocupação, porém, devido às técnicas utilizadas de maneira imprópria, tornam tal localidade inviável e propensa ao risco de movimentos de massa (SANTOS, 2012).

Monteiro (1991) desta que devido à urbanização espontânea e precária no Brasil, instalada na maioria das vezes sobre sítios perigosos, fez com que parte da população habitante dessas áreas ocupasse locais considerados de risco à vida, devido à possibilidade de ocorrência de eventos danosos, destacando principalmente espaços propícios a situações de enchentes e movimentos de massa.

Acerca da discussão sobre os eventos naturais que atingem a população brasileira e suas consequências, Ahrendt (2005) aborda que os movimentos de massa apesar de não ocorrerem única e exclusivamente em áreas urbanas habitadas por populações de menor renda, as ocupações inadequadas e irregulares das encostas em ambientes citadinos, ainda continuam sendo um dos principais fatores responsáveis pela ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa.

Diante do que foi exposto, é possível concluir que as modificações dos elementos da superfície, decorrente do processo de urbanização, tais como, a retirada da vegetação e impermeabilização das superfícies, somadas ao tipo de solo da área, declividade do terreno e absorção de água pelo solo, são os principais potencializadores para a ocorrência dos movimentos de massa em área urbana.

Neste sentido, Fernandes e Amaral (1996) relatam que devido as diferentes formas e elementos que são atuantes nos movimentos de massa, é muito difícil se chegar a uma medida preventiva ou de correção total desses processos que implicam em uma maior segurança para a população.

Sendo assim, a não ocupação de áreas propensas a ocorrência de movimentos de massa, e em alguns casos, medidas protetivas para diminuir a ocorrência desses eventos, são algumas ações que podem ser realizadas para se evitar danos provenientes destes.

3.2.2 Movimento de Massa: uma discussão epistemológica acerca do surgimento do conceito e definição.

Os movimentos de massa se comportam como um notável agente externo que modela e define o relevo, além de estarem diretamente ligados aos processos de evolução das encostas. Nesta linha, Guerra e Marçal (2006, p.75-76) caracterizam os movimentos de massa como sendo “o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água”. Drew (1986, p. 132) aponta para as mais diversas variações que se pode ter dentro desses

movimentos, considerando que estes “variam em função da natureza do material, da topografia, do clima e da vegetação”.

A partir das variações destacadas no parágrafo anterior, muitas foram ao longo dos anos às classificações criadas para categorizar e diferenciar os tipos de movimentos de massa. A primeira classificação considerada em trabalhos como Selby (1993) e Fernandes e Amaral (1996), foi à classificação de Sharpe, desenvolvida em 1938. Após essa primeira classificação, as próximas que se destacaram foram Varnes em 1958 e depois em 1978, na sequência Hutchinson em 1988 e um ano mais tarde, em 1989, Sassa também desenvolveu sua classificação para os tipos de movimentos de massa.

Sharpe (1938), que faz referência ao livro “*Landslides and related phenomena: A study of mass movements of soil and rocks*”, foi considerado por Cruden (2003), “*the first American textbook on landslides*”⁸.

No texto de Cruden (2003), intitulado “*The First Classification of Landslides?*”⁹, tem como principais objetivos discutir a utilização de termos que se referem aos movimentos de massa, e também, argumentar qual deve ser considerada a primeira classificação desses movimentos. A respeito da primeira utilização do termo, publicado, que mais tarde fizera alusão aos movimentos de massa, foi “*landslide*” (na tradução, deslizamento/escorregamento de terra). Segundo destaca o autor do texto, o emprego de tal expressão foi datada em 10 de março 1838, registrado em uma revista chamada “*Jeffersonian*”, com circulação em Albany (capital de Nova Iorque), que tinha como manchete “*On the 10 ult, the City of Natchez was thrown into consternation by a landslide.*”¹⁰.

Vale destacar que no decorrer do texto de Cruden (2003) existem registros anteriores da utilização de termos que mais tarde fariam alusão a fenômenos referentes à movimentos de massa, porém, tais descritos são relatos de pessoas que estão presentes no Manual de Geologia, publicado em 1864, por James Dwight Dana. Nesse referido trabalho, aparecem duas datas que antecedem 1838, sendo essas, 1802 (que se referiu a rolamentos de rochas, ocorridos em Rossberg, na Suíça), e posteriormente em 1826 (mencionando um deslizamento de pedras, terra e árvores, nas *White Mountains-EUA*, descrito na época como “*slides*”). Esse último fato foi descoberto por Dana através de relatos pessoais de seu sogro.

Em outra referência, Cruden (1991) afirma que vocábulos pertencentes aos movimentos de massa já eram usados popularmente em 1678, com registros inclusive no

⁸ Nota de tradução: “o primeiro livro americano sobre deslizamentos de terras”

⁹ Nota de tradução: “A Primeira Classificação de Deslizamento de Terra?”

¹⁰ Nota de tradução: “No dia 10 de outubro, a cidade de Natchez foi lançada em consternação por um deslizamento de terra”.

“*Oxford English Dictionary*”. O principal termo ao qual o texto faz referência é à expressão “*landslip*”, considerado por estudos de Lubbock (1902) e Marr (1916) apud Crudem (1991), como uma locução equivalente a “deslizamento de terra”. Inclusive sua definição no referido dicionário era “*the sliding down of a mass of land on a mountain or a cliff side, land which has so fallen.*”¹¹

Diante do que foi apresentado, é sabido que palavras e expressões são criadas a partir da elaboração e surgimento de determinada coisa ou elemento. No caso de fenômenos naturais, por exemplo, a nomenclatura dos mesmos é criada a partir da ocorrência destes no tempo e no espaço. Como observado no parágrafo anterior, expressões que se referiam a movimentos de massa eram usados popularmente desde 1678, provavelmente relatando a acontecimentos que levassem a nomeação destes. Porém, como consta na literatura, de 1678 até 1838 nada tinha sido publicado. Então, em consequência disso, optou-se por adotar 1838 como o ano da aparição e datação de um termo ao qual se faz alusão aos movimentos de massa, devido ao fato deste ser encontrado como uma publicação ao qual se tem referência.

Observa-se que a primeira expressão utilizada para caracterizar o “transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, ao longo de um declive”, o “*landslide*” (deslizamento/escorregamento de terra), em 1838, é um termo que se refere nos dias atuais, a um tipo, ou se preferir, a uma classe presente nas diversas categorizações existente dos movimentos de massa. Ou seja, o primeiro termo que se referiu aos “movimentos de massa” é hoje, na verdade, um tipo ou uma classe presente dentro das classificações atuais, indo ao encontro do que Drew (1986, p. 132) apontou, onde devido às diversas variações da natureza dos materiais do solo, da topografia da área, do clima e da vegetação presente em cada local, existirá uma diferença e diversidade de fenômenos que irão se referir aos movimentos de massa.

Sobre a primeira classificação dos tipos de movimentos de massa, Cruden (2003), destaca que anteriormente ao que Selby (1993) e Fernandes e Amaral (1996) adotam, existe uma classificação que não é muito trabalhada na literatura, que é a apresentada por James Dwight Dana, sendo esta classificação datada de 1864.

Segundo Cruden, tal trabalho de Dana representa a primeira tentativa de classificação de movimentos de solo e/ou rocha, já publicada. Esta apresenta exemplos descritos, de algumas das fontes de Dana, que são interessantes de ser observadas. Tal trabalho de Dana, que foi denominado como um “Manual de Geologia”, e neste o referido autor definiu que os

¹¹ Nota de tradução: “deslizamento de uma massa de terra de uma montanha ou um penhasco; terra que caiu.”

“*Land-slides are of three kinds*”¹². Porém, essa separação não é vista por muitos como sendo a primeira classificação dos movimentos de massa, devido ao fato desta ser considerada por autores, na ocasião citou Sharpe (1938, p.15), como sendo uma classificação simplista e incompleta.

Diante disso, o trabalho de Dana (1864), apresentado em Cruden (2003), foi considerado o primeiro passo para futuras classificações, este foi escrito a partir da observação e relatos de eventos naturais que aconteceram e foram narrados até então.

Dana, desenvolveu seu trabalho a partir da percepção ambiental e relatos de pessoas que evidenciaram ou sabiam de eventos envolvendo deslizamento de massa, tanto nos Estados Unidos, quanto na Europa. É possível afirmar então, que seu trabalho foi quase que totalmente desenvolvido através do primado da empiria, significando assim que suas bases e teorias partiam de pressupostos livres de idealismo e racionalismo, valorizando desta maneira enquanto método científico para o desenvolvimento de seu Manual de Geologia, eventos relacionados as experiências sensíveis imediatas ou passadas, sem estar preocupado com uma doutrina lógica (JAPIASSU e MARCONDES, 1990).

O processo de construção científica de Dana em 1864 se remete ao período histórico-científico ao qual este estava inserido, meados do século XIX, onde o método positivista de fazer ciência, desenvolvido por Auguste Comte estava sendo fundamentado. Nesta época, as concepções de ciência estavam sendo concebidas e baseadas no que se julgavam ser a verdadeira produção científica derivada da experiência, do que era concreto e também daquilo que já havia sido evidenciado ou descrito (JAPIASSU e MARCONDES, 1990, p.157).

Sendo tais concepções alicerçadas ao mundo físico e material, somadas ainda ao não desenvolvimento de grandes tecnologias, essas eram consideradas formas capazes de produzir e criar dados concretos e cientificamente respeitáveis.

Talvez, devido a essa construção a partir de evidências e relatos (empiria), que o trabalho de classificação dos “movimentos de massa” de Dana (1864) foi mais tarde tachado como sendo uma classificação “simples e incompleta”, por autores como Sharpe (1938, p.15).

Sharpe por sua vez, classificou os movimentos de massa diante de três principais fatores, que segundo ele seriam fundamentais para classificar e caracterizar os diferentes tipos de movimentos. Primeiramente, considerou os possíveis agentes de transporte, tais como: água, gelo e/ou gravidade. Em segundo plano os tipos de materiais, se são: rocha(s) e/ou solos. Já como terceiro fator que tem alteração para a classificação de movimentos, Sharpe

¹² Nota de tradução: “Os deslizamentos de terra são de três tipos”

destaca a velocidade de movimentação desses materiais, se é: imperceptível, lento, rápido ou muito rápido.

Nesse sentido vale aqui destacar que trabalhos como Sharpe (1938), Varnes (1958, 1978), Hutchinson (1988) e Sassa (1989) que também fizeram suas classificações, se encontravam em outra realidade perante o fazer científico de Dana, em 1864.

No século XX, o “se fazer ciência” e também a compreensão dos fenômenos, não estavam mais atreladas somente ao empirismo, observação e à percepção do século XIX, o interesse agora passava a ser no âmbito da investigação científica, e da revisão e aprofundamento nas teorias (CHIBENI, 2001; LÖWY, 1987). Ainda no século XX, as fontes de dados e pesquisas deveriam ser investigadas, apresentando assim comprovação e cientificidade. Diferentemente do século passado, onde as fontes (ou documentos) privilegiavam aquilo que estava escrito, ou relatado.

No início do século XX, mais precisamente entre as décadas de 1920-30, surgia na Europa, um novo método de se fazer ciência, o neopositivismo. Tal método foi constituído no "Círculo de Viena", e passou a ser considerado como um “positivismo lógico” (AYER, 1978). O método foi construído a partir da premissa de que todas as ciências deveriam exprimir-se na linguagem da “lógica”, para fundamentar suas bases e teorias. Acreditava-se que o neopositivismo, poderia contribuir para um maior desenvolvimento das ciências e do conhecimento científico, com o interesse de expressar previsões globais.

A fundamentação e constatação do método neopositivismo, se dava a partir da verificação do que era científico e do que não era. Assim a comprovação de determinado problema ou fenômeno, se dava a partir de procedimentos finitos, onde a conclusão desses deveria ser necessariamente verdadeira (AYER, 1978). Contudo, uma proposição ou dedução, para ter sentido deveriam apresentar relações com os dados empíricos, ter uma estruturação lógica, e ser fundamentalmente comprovada.

Seguindo na linha da constatação criada pelo neopositivismo, Schlick (1975, p.46) afirma que “As proposições fatuais são, pois, o fundamento de todo saber, mesmo que elas precisem ser abandonadas no momento de transição para afirmações gerais. Estas proposições estão no início da ciência. O conhecimento começa com a constatação dos fatos.”

Observa-se com isso que o método neopositivista, fundamentou a criação das classificações surgidas no século XX, principalmente na consideração da existência de diferentes tipos de movimentos de massa, que era constatado e comprovado em tal época. Desde Sharpe (1938), passando por Varnes (1958 e 1978), Hutchinson (1988) e terminando em Sassa (1989), dentre outras, destaca-se que tais classificações estavam preocupadas com a

ocorrência desses fenômenos relacionados à sociedade, e também com as diversas formas com que estes movimentos de massa aconteciam, quais tipos de materiais estavam a eles relacionados, velocidade da ocorrência, dentre outros condicionantes, que na época eram avaliados.

Fundamentado no método de fazer ciência da época, que priorizava o cientificismo, e o estudo e comprovação de fenômenos, pode-se dizer que tais classificações, apresentadas no parágrafo anterior, que são consideradas por Selby (1993) e Fernandes e Amaral (1996), como as pioneiras, foram construídas e estruturadas a partir do interesse de identificar os diferentes tipos de deslocamento de massa existentes e que de certa maneira esses aconteciam no espaço e quais condicionantes estavam a eles atrelados.

3.2.3 Os diferentes tipos e classificações de Movimentos de Massa existentes e suas principais características.

Impulsionado pela pesquisa ser desenvolvida na área relativa aos movimentos de massa, achou-se importante apresentar e reconhecer os diferentes tipos presentes nas diversas classificações existentes na bibliografia nacional e internacional. Assim, nesse tópico serão expostas algumas características, conceitos e terminologias referentes aos tipos de movimentos de massa mais recorrentes e empregados nessas classificações.

Inicialmente, Araújo (2004, p.6) destaca que “os movimentos gravitacionais de massa são o resultado de diferentes mecanismos, que atuam sobre diferentes tipos de materiais, e podem envolver variações em seus condicionantes tanto naturais quanto antrópicos”. Segundo o autor, conhecer e caracterizar os vários tipos de movimentos torna-se de grande valia, tanto para observar e interpretar a relação existente entre tais condicionantes e a probabilidade de ocorrência desses eventos na natureza, quanto para a construção das diferentes classificações.

Christofoletti (1980) considera que movimentos de massa são processos da dinâmica superficial da terra onde rochas, materiais não consolidados e solos são movimentados encosta abaixo, em virtude da força gravitacional. Declara que a movimentação e transporte de solo e/ou rocha pela ação da gravidade, pode ser divididos em: queda de rochas, rastejamento, deslizamento ou escorregamento, avalanches e queda de barreiras.

Diante dos vários tipos de movimentos de massa existentes, Christopherson (2012) coloca que a gravidade é um fator determinante para a ocorrência destes. O autor coloca que o deslocamento da massa de rocha e/ou solo se dá por meio de cisalhamento¹³ (limiar

¹³ Entende-se por **cisalhamento**, a força de resistência do material para que esse fique estável na encosta. O cisalhamento é considerado a coesão e atrito interno dos materiais em uma vertente, que age contra a gravidade

geomórfico) desses materiais, causado pela ação da força da gravidade exercida sobre eles, a qual se torna determinante para que a massa de rocha e/ou solo atinja seu ponto crítico de falha e se desloque ao longo da vertente. O autor ainda admite que os movimentos de massa apresentam quatro possibilidades de deslocamento, sendo elas **cair, deslizar, fluir ou rastejar**.

Os inúmeros sistemas de classificações buscam de modo amplo, correlacionar e reunir os diferentes tipos de movimentos ocorrentes nas encostas, em grupos com características e variáveis similares, dentre as quais se destacam: natureza do material, velocidade e direção do movimento, profundidade e raio de alcance, ambiente geomorfológico e climático, superfície de ruptura, estado de tensões e potencial destrutivo. Sendo tais variáveis observadas em áreas de ocorrência dos fenômenos relacionados aos movimentos de massa (FERNANDES, 2000).

Varnes (1978, p.11), fundamentou-se em 10 (dez) atributos para criar sua classificação sobre os movimentos de massa, atributos esses utilizados por Varnes (1958), e que eram observados frequentemente nos mais variados processos, e serviram para diferenciar e identificar os tipos e classes. Dentre esses atributos enquadram-se:

1) **tipo de material** (*kind of material*); 2) **taxa de movimento** (*rate of movement*); 3) **geometria da área de falha e o depósito dela resultante** (*geometry of the area of failure and the resulting deposit*); 4) **idade dos materiais** (*age*); 5) **causas do movimento** (*causes*), 6) **nível de ruptura da massa deslocada** (*disruption of the displaced mass*); 7) **relação ou falta de relação entre a geometria deslizante com a estrutura geológica** (*relation or lack of relation of slide geometry to geologic structure*); 8) **grau de desenvolvimento do movimento** (*degree of development*), 9) **localização geográfica de tipos similares** (*geographic location of type examples*) e; 10) **estado de atividade do movimento** (*state of activity*).

Freire (1965) *apud* Guidicini e Nieble (1984), expõe que dentre os tipos, subtipos e classes de movimentos de massa considerados por ele, devem ser caracterizadas e identificadas conforme 11 (onze) parâmetros físicos-mecânicos-causais, a se ressaltarem:

a) **natureza de superfície de movimentação**; b) **inclinação do talude**; c) **características qualitativas do movimento**; d) **tipo de movimento**; e) **velocidade e duração**; f) **termos de passagem de um tipo de movimento para o outro**; g) **causas intrínsecas e extrínsecas, estas últimas divididas em indiretas e diretas, subdivididas em preparatórias e**

para que não haja perda de massa. Assim quando se reduz a força de cisalhamento, aumenta a tensão cisalhante, que acaba por atingir o ponto em que a gravidade supera o atrito, iniciando assim uma falha e possível deslocamento de massa na encosta (Christopherson, 2012, p.416)

imediatas; h) modo de ação das causas; i) natureza física de ações significativas das causas; j) efeitos sobre as condições de equilíbrio e; k) processos corretivos dos movimentos de massa.

Hutchinson (1988) ao propor sua classificação, considerado por Fernandes e Amaral (1996) uma das mais complexas até aquela época, baseou-se em critérios associados na morfologia do movimento, ao tipo de material deslocado, mecanismo de ruptura, velocidade de ocorrência, condições de poro-pressão da superfície e as características do solo.

Christopherson (2012) considera que os conteúdos presentes em cada um dos vários tipos de movimentos de massa, são imprescindíveis para a classificação destes. Assim o autor coloca que esses movimentos podem variar de seco a úmido, lento a rápido, pequeno a grande, e de queda livre a gradual ou intermitente. Na sequência, por meio dessas características o autor apresenta um esquema didático, Figura 23, onde se percebe uma subdivisão das classes de movimentos de massa consideradas por ele, baseadas na velocidade com que ocorre cada tipo de movimento e o conteúdo d'água presentes nesses.

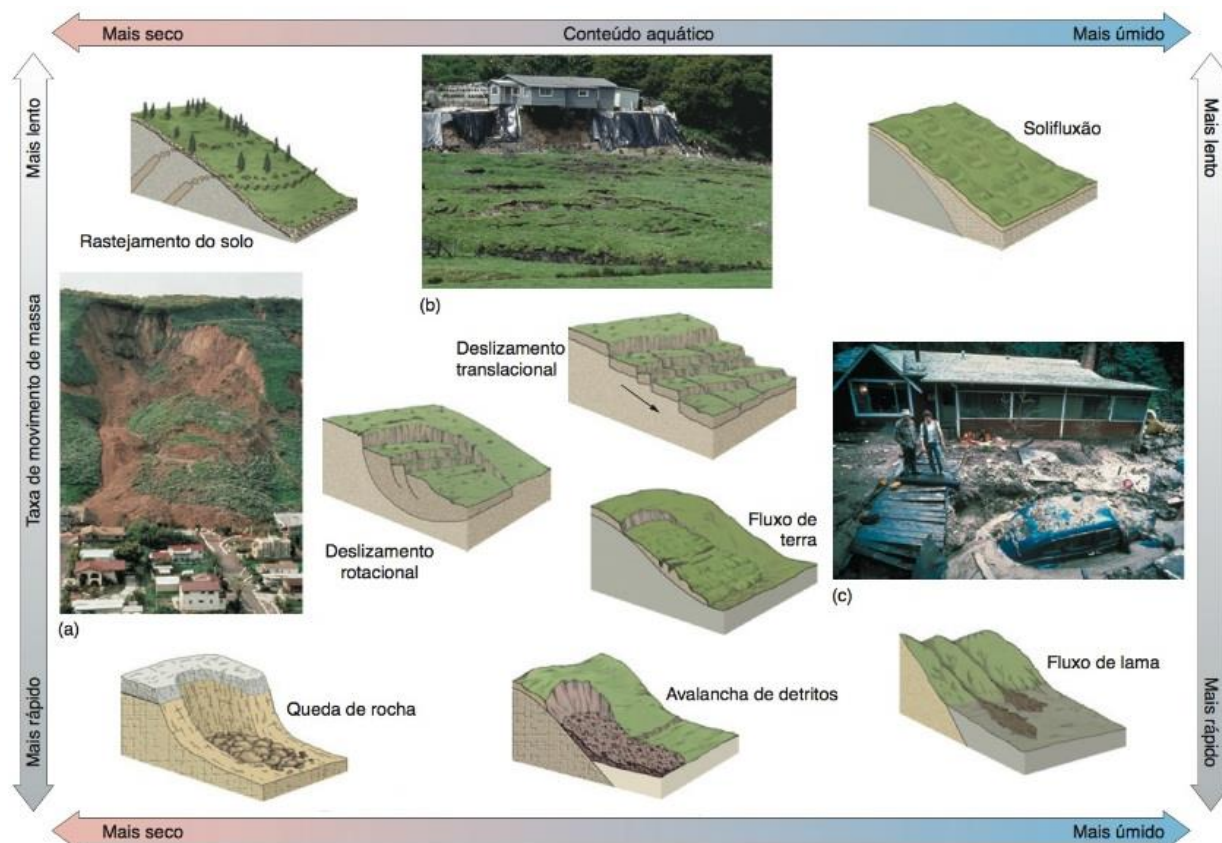


Figura 5: Velocidade das taxas de movimentos e variação do conteúdo d'água como uma das variadas formas de classificar e subdividir os principais tipos de movimentos de massa, segundo Robert Christopherson. (a) Deslizamento; (b) Rastejamento; (c) Fluxo de lama. Fonte: adaptado de Christopherson, 2012.

Diante do que foi apresentado, é possível afirmar que os muitos processos, critérios, fatores e atributos físicos que foram apresentados, surgiram advindos de observações e

identificações destes em áreas propensas ou que já ocorreram movimentos de massa ao longo dos anos.

Os diferentes modos de interação desses fatores entre si e no espaço é que proporcionam o surgimento dos diversos sistemas classificatórios referentes a movimentos de massa, sendo estes observados tanto na bibliografia nacional, quanto na internacional. Vale também destacar que as diversas classificações, se explicam pela variação das condições ambientais presentes em cada região, a qual cada evento foi observado (SESTINI, 2000; FERNANDES E AMARAL, 1996).

Partindo do objetivo proposto para esse capítulo, de destacar os diferentes tipos de movimentos de massa existentes, tomou-se como base os trabalhos de: Sharpe (1938), Varnes (1958; 1978), Hutchinson (1988), Augusto Filho (1992), Fernandes (2000), Castro et. al (2003), Rodriguez (2005), Highland e Bobrowsky (2008) e Christopherson (2012), os quais apresentam classificações diferentes e individuais, e dessas foram destacados os tipos de movimentos mais recorrentes.

Após a análise e estudo desses trabalhos, destacou-se 7 (sete) tipos de movimentos que são frequentemente apresentados e observados nas classificações que constam nas obras citadas. Na sequência, serão expostas as definições e concepções de cada um dos processos destacados, utilizando-se ainda de ilustrações para uma melhor caracterização e compreensão desses. Dos movimentos que serão abordados, estão: 1) **Quedas** (“falls”); 2) **Tombamentos** (“topples”); 3) **Escorregamentos** (“slides” ou “landslides”), que podem ser divididos em Planar ou Translacionais, Circulares ou Rotacionais e em Cunha ou Estruturado; 4) **Espalhamentos** (“spreads”); 5) **Escoamentos ou Corridas de Massa** (“flows”); 6) **Rastejos** (“creep”), e por fim, 7) **Movimentos Complexos**.

1) **Quedas** (“falls”)

São movimentos que se iniciam a partir da separação de parte do solo ou da rocha, ou de ambos, de uma escarpa íngreme e se desloca na superfície da mesma. Tal movimento se caracteriza por apresentar pouco ou nenhum deslocamento por cisalhamento (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

Segundo Augusto Filho (1992) as quedas se caracterizam por não apresentarem planos de deslocamento, acontecendo na maioria das vezes em queda livre ou por meio de saltos e/ou rolamentos através do plano inclinado presente no talude. A velocidade desses movimentos é considerada muito alta (m/s).

As quedas ocorrem geralmente em taludes íngremes ou verticais, observados em grande parte das vezes em áreas litorâneas, próximas de rios e de ribeirões, paredes de pedras e em cortes de estradas e de construções.

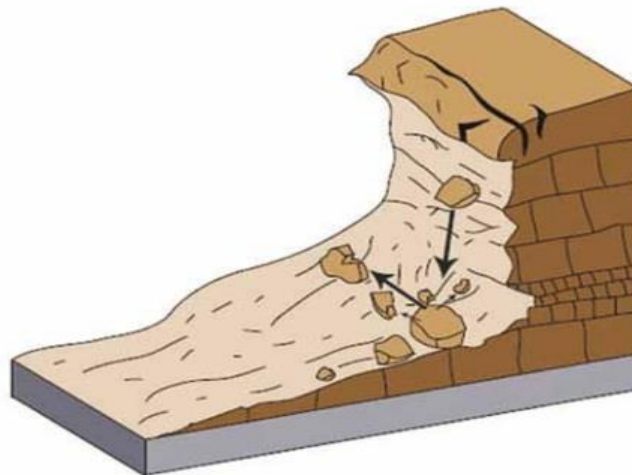


Figura 6: Esquema de Queda de Bloco de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

2) Tombamentos (“*topples*”)

Segundo Fernandes (2000) os tombamentos se distinguem das quedas, pela rotação existente nesse movimento, para frente ou para fora da encosta. O desprendimento desses das unidades, segundo ainda o autor, se dão pela ação da gravidade, ou por forças aplicadas pelas outras unidades adjacentes, ou ainda por fluidos existentes em suas discontinuidades.

Varnes (1978) destaca que os tombamentos ocorrem mediante a rotação de um bloco ou mais blocos da encosta em torno de um eixo vertical, tal movimento está vinculado à planos de ruptura existentes.

Highland e Bobrowsky (2008) apontam que os tombamentos na maior parte das vezes estão condicionados a terrenos de estrutura colunar vulcânica, ou de rocha sedimentar fissurada, sendo comum observar tal fenômeno ao longo de cortes de rodovias, em cortes de encostas e em cursos de rios e de ribeirões com margens íngremes. Os autores ainda salientam que a velocidade de deslocamento pode variar de extremamente lenta a extremamente rápida, com aumento na aceleração durante o movimento.



Figura 7: Esquema de Tombamentos de Bloco de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

3) **Escorregamentos** (“slides” ou “landslides”)

Os escorregamentos se definem como um movimento de solo e/ou rocha, que ocorrem em declividade, sendo determinado por superfícies de ruptura ou zonas relativamente finas que apresentam intensa deformação por cisalhamento (VARNES, 1978; HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

Esses movimentos, segundo Highland e Bobrowsky (2008), não ocorrem inicialmente por toda a área atingida, sua área de abrangência e o volume do material transportado aumentam gradativamente a partir do local de ruptura, tendo seu volume máximo na área de deposição. Nesse sentido, Augusto Filho (1992) ressalta que o volume do material deslocado pode variar de pequenos a grandes volumes.

Castro et al (2003), destacam que os escorregamentos, além de serem caracterizados por movimentos gravitacionais de massa que ocorrem de forma rápida, também apresentam limites (superfície de ruptura) bem definidos tanto em profundidade como lateralmente, sendo possível diferenciar o material deslizado e o material estável.

Devido as diferentes geometrias, natureza dos materiais existentes e as formas de ruptura, os escorregamentos podem ser divididos em 3 categorias, a se destacar: Escorregamento Planar ou Translacional, Escorregamento Circular ou Rotacional e Escorregamento em Cunha ou Estruturado (AUGUSTO FILHO, 1992; BRASIL, 2007)

3.1) **Escorregamento Planar ou Translacional**

Conforme colocado por Highland e Bobrowsky (2008), é um dos tipos de escorregamentos mais comuns e recorrentes no mundo, podendo acontecer em diversos ambientes, com as mais variadas condições. Destacam-se por mover-se para fora ou para baixo, ao longo de uma superfície relativamente plana, com uma pequena inclinação para trás.

Apresentam-se como principais atributos solos pouco espessos com um plano de ruptura bem evidente (AUGUSTO FILHO, 1992). Segundo Fernandes (2000), a ruptura nesses movimentos se dá por cisalhamento onde a massa de solo e/ou rocha se desloca sobre a superfície da encosta, condicionada por superfícies de fraqueza favoráveis a instabilidade que se originam por discontinuidades geológicas, tais como: fraturas, falhas, acamamento, foliações, xistosidades.

Vargas (2015), enfatiza que os escorregamentos planares ou translacionais “costumam ser compridos e rasos, estando normalmente associados a uma dinâmica hidrológica mais superficial, onde um aumento excessivo da poropressão provoca instabilidade”.

Esses movimentos têm como principais mecanismos de desencadeamento as chuvas intensas, causando saturação do solo, alagamentos e inundações, vazamentos de tubulações, ações humanas (retirada da vegetação, ocupações irregulares, depósito de lixo), dentre outros. Sua ocorrência se dá principalmente em vertentes com altas declividades, com solos pouco espessos e pouco desenvolvidos.

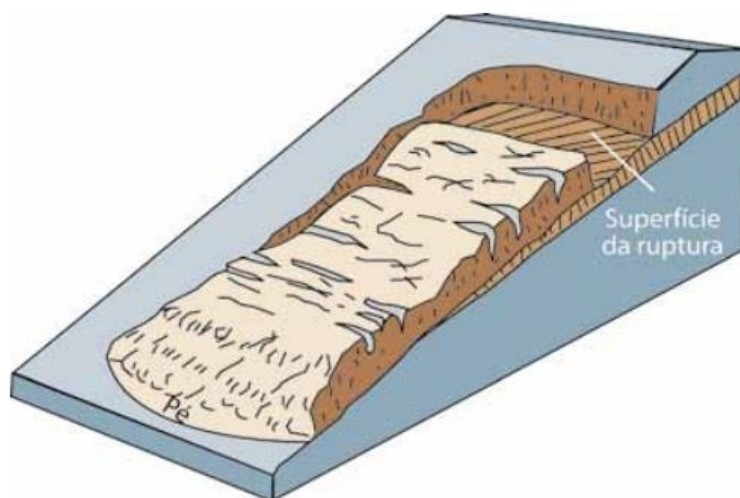


Figura 8: Esquema de Escorregamento Planar ou Translacional de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

Sendo os escorregamentos translacionais rasos, muito comuns de serem evidenciados em todo escarpamento da Serra do Mar, e em áreas com características semelhantes como, por exemplo, o Complexo da Serra da Mantiqueira (ZAIDAN E FERNANDES, 2009), e estando a área de estudo localizada parcialmente neste complexo, estes foram escolhidos como o processo de análise a serem investigados neste estudo.

A aplicação de modelos matemáticos em bases físicas, portanto, possibilitam dentre outras funções, identificar áreas propensas a ocorrência de escorregamentos translacionais rasos, mediante a instabilidade das encostas reconhecidas pela relação entre as diversas

variáveis que controlam a estabilidade da encosta. Fato esse que se busca analisar nesse trabalho.

3.2) Escorregamento Circular ou Rotacional

Nesse tipo de escorregamento a superfície de ruptura é curvilínea no sentido superior (estrutura côncava voltada para cima), seu movimento de queda ou deslocamento se dá em torno de um eixo paralelo ao contorno da encosta. Esse movimento ocorre naturalmente em locais onde existem materiais (solos e rochas) homogêneos, mas também pode ser observado em aterros e barragens de terras (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

Em geral, esses movimentos apresentam um menor raio de alcance, quando comparados aos escorregamentos translacionais, porém os solos destes são mais profundos e as rochas são muito fraturadas (AUGUSTO FILHO, 1992).

Segundo Vargas (2015), as ocorrências desses escorregamentos estão associadas à percolação de água em profundidade. É a água, a principal responsável pelo mecanismo de ruptura existente nesse movimento. A infiltração constante nesse ambiente atua de forma a diminuir a resistência ao cisalhamento, modificando as condições iniciais do solo e tornando tal superfície vulnerável ao desequilíbrio (AHRENDT, 2005).

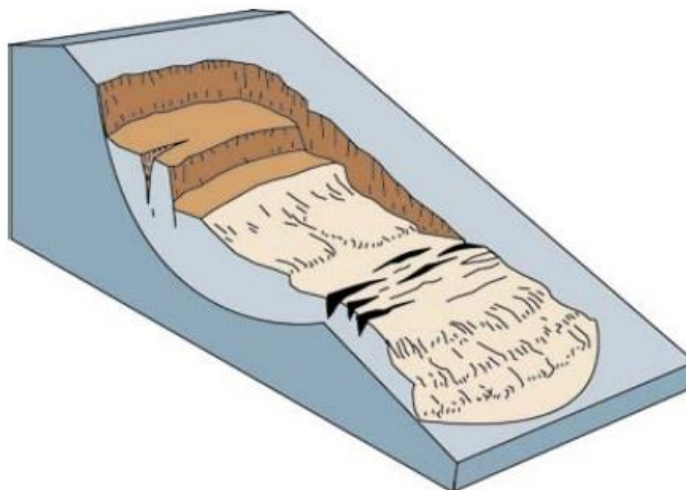


Figura 9: Esquema de Escorregamento Circular ou Rotacional de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

As principais feições encontradas nesses movimentos são: escarpas de topo, fendas transversais na massa escorregada e uma língua de material na base da vertente. Tendo como principais fatores desencadeadores: chuvas intensas e contínuas, escoamento rápido de rios após enchentes, aumento de água subterrânea devido ao enchimento de represas ou o aumento no nível de ribeirões, lagos e rios, dentre outros (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

3.3) Escorregamento em Cunha ou Estruturado

Tal movimento tem como principal causador de seu surgimento, a existência de dois ou mais planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade, o que acabam condicionando o deslocamento do material presente nessa área (BRASIL, 2007).

Esses movimentos são observados geralmente em áreas com camadas de solos profundas e bandadas, solos coesivos duros e intactos e em encostas verticais e muito íngremes (AHRENDT, 2005).

O deslocamento do bloco de solo e/ou rocha, se dá por meio de deslocamento deslizando ao longo de uma descontinuidade plana.

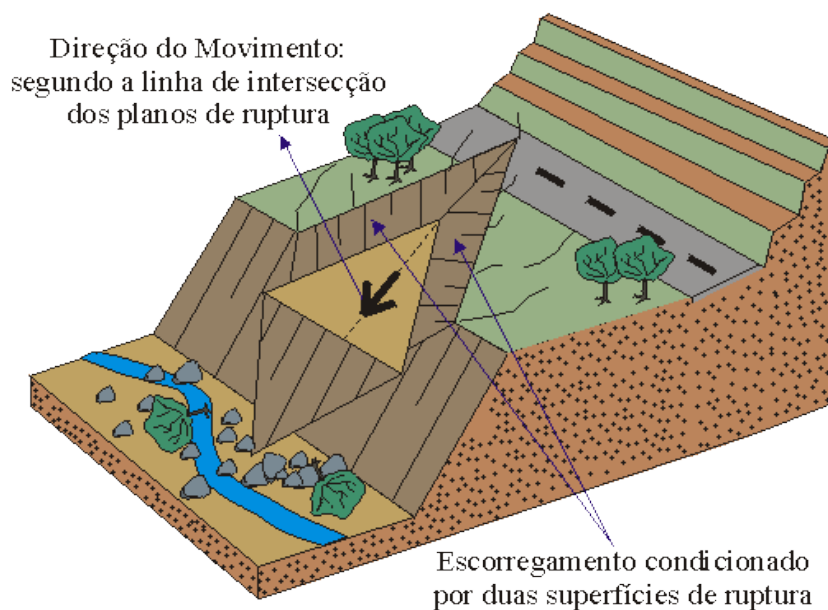


Figura 10: Esquema de Escorregamento em Cunha ou Estruturado de Solo e/ou Rocha. Fonte: UNESP (disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>).

4) Espalhamentos (“spreads”)

São movimentos de massa que se caracterizam tanto pela dispersão lateral, como pelo afundamento generalizado de uma superfície de massa fraturada de material coesivo para uma camada inferior, de material menos rígido (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

Fernandes (2000) afirma que o tal deslocamento de massa se dá pela perda de resistência e ruptura repentina (colapso) dos materiais subjacentes, em muito dos casos por Liquefação (transição ao estado líquido).

Os espalhamentos são o resultado de uma baixa resistência da superfície de contato dos materiais sobrejacentes, mesmo que temporária, podendo ser promovido por sobrecarga acima do terreno instável devido a causas naturais ou antrópicas, saturação das camadas inferiores por excesso de água por precipitações ou alteração dos níveis de água no solo,

terremotos ou tremores, remoção de minerais em subsuperfícies, dentre outros (FERNANDES, 2000; HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008)

A área afetada por tal fenômeno varia de poucos metros até centenas de metros em amplitude. A velocidade de ocorrência desse fenômeno varia de vagaroso, a algumas vezes, rápido, dependendo do mecanismo de desencadeamento desses fenômenos, como por exemplo, precipitação (tende a ser mais lento), e terremotos (alta velocidade de ocorrência).

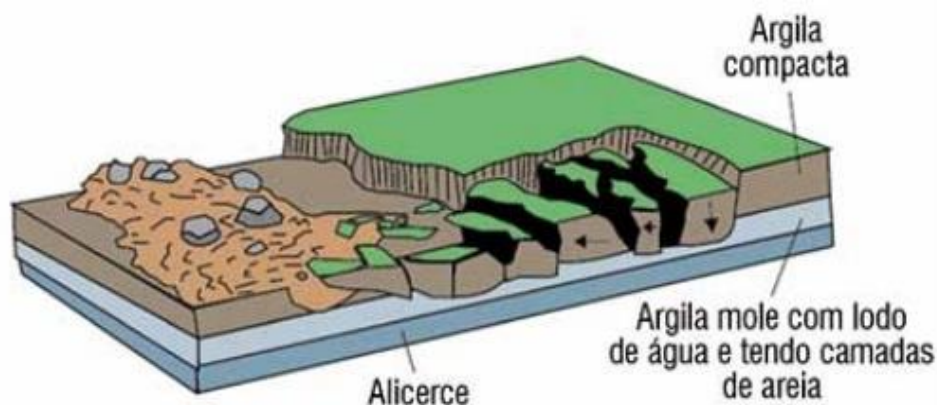


Figura 11: Esquema de Espalhamento de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

5) Escoamentos ou Corridas de Massa (“flows”)

De maneira ampla esse movimento se fundamenta a partir de um grande aporte de material de drenagem, sobre terrenos e ou superfícies pouco consolidadas, que quando misturados com grandes volumes de água infiltrada ou disponível no sistema, forma uma massa semifluida, com comportamento geotécnico semelhante ao de um líquido viscoso (CASTRO et. al, 2003).

Highland e Bobrowsky (2008) destacam que os escoamentos se distinguem dos escorregamentos dependendo da quantidade de água presente no sistema, da mobilidade (sendo essa mais rápida nos escoamentos), bem como a evolução do movimento. Nesse sentido, os autores caracterizam esses movimentos como “uma forma rápida de movimento de massa, em que solo solto e rochas, e por vezes, material orgânico, se misturam à água e formam lama que escoam por talude abaixo”.

Nota-se que tal movimento pode ser observado em diversas partes do mundo, com maior destaque para encostas ou ravinas íngremes, variando sua intensidade de acordo com os materiais e componentes existentes na área, sendo desencadeados por um intenso fluxo de água na superfície.

Segundo Augusto Filho (1992), os escoamentos apresentam uma velocidade de média a alta, sendo desenvolvidos na maior parte das vezes ao longo das linhas de drenagens, podendo atingir extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Vale enfatizar que corridas de massa abrangem uma gama variada de denominações na literatura nacional e internacional como, por exemplo, corrida de lama, *mud flow*, corrida ou fluxo de detritos, corrida de blocos, *debris flow*, *lahars*, avalanche de detritos, etc., tais nomenclaturas surgem principalmente em função de suas velocidades e das características dos materiais que mobilizam (BRASIL, 2007; HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

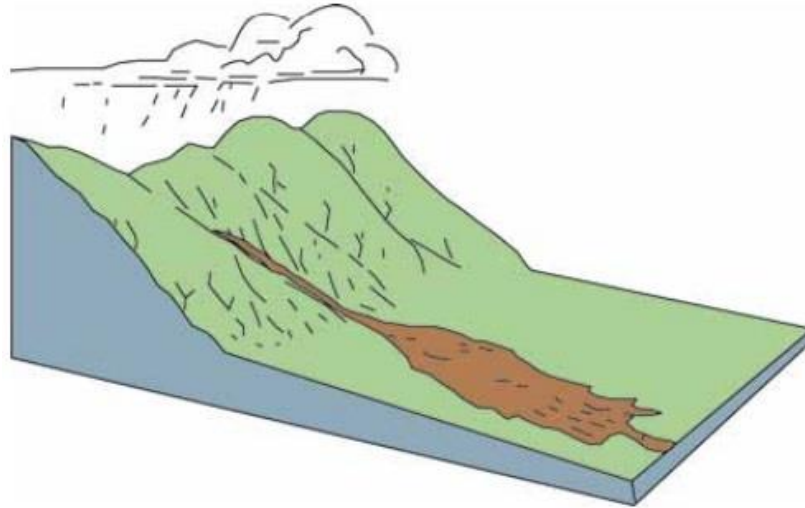


Figura 12: Esquema de Escoamento ou Corridas de Massa de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

6) Rastejos (“*creep*”)

Denominam-se rastejos, todo fluxo lento de terra imperceptível e contínuo para as partes mais baixas que forma o talude. Esse movimento é causado por uma tensão de cisalhamento interna, que é suficiente para causar uma deformidade, mas insuficiente para causar uma ruptura na estrutura da superfície (VARNES, 1958; HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

Castro et al. (2003) afirmam que os rastejos afetam grandes áreas e atuam tanto nos horizontes superficiais das encostas, como nos planos profundos, promovendo a abertura de fendas no solo residual e também na rocha-matriz. Sua velocidade pode variar de muito baixa (cm/ano) a baixa.

Augusto Filho (1992) destaca que esses movimentos não apresentam uma geometria definida, podendo apresentar diversos planos de deslocamentos internos, com movimentos constantes, sazonais ou intermitente.

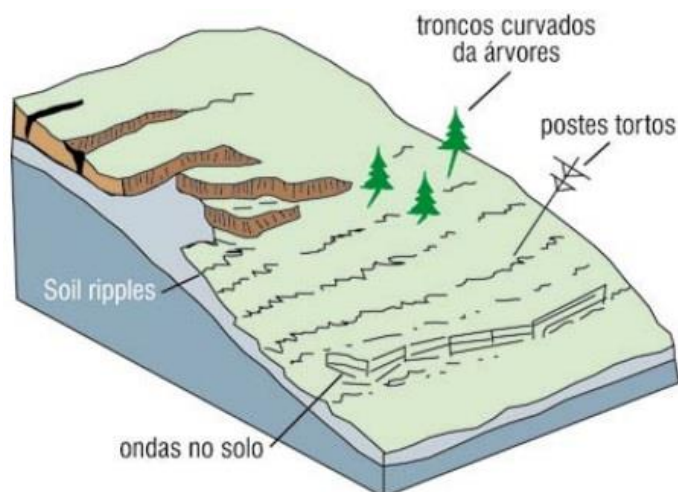


Figura 13: Esquema de Rastejos de Solo e/ou Rocha. Fonte: Highland e Bobrowsky, 2008.

Ahrendt (2005) salienta que nas diversas bibliografias os rastejos podem ser divididos em 3 (três) categorias, Rastejos Superficiais, Rastejos Pré-Ruptura e Rastejos Pós Ruptura, os quais se diferenciam pelas porções do terreno atingido e o momento de atuação em relação a ruptura.

7) Movimentos Complexos

São considerados movimentos que envolvem a combinação de um ou mais tipos de movimentos de massas descritos até aqui. Autores como Ahrendt (2005) e Fernandes (2000) consideram que esses movimentos são mais comuns de acontecer do que os individuais, uma vez que eles podem ocorrer na massa de solo e/ou rocha já movimentada, que se encontra em movimento, durante os vários estágios de seu desenvolvimento.

Fernandes (2000) apresenta que dentre as combinações mais encontradas, as que se pronunciam são: queda e rolamento de blocos associados a escoamentos de materiais grosseiros (detritos); escorregamentos e escoamentos de solos e detritos.

Com o que foi aqui apresentado, vale destacar que nem todos os autores e classificações, citados anteriormente, tomam exatamente os sete tipos como relevantes para suas categorias de movimentos de massa. É importante reiterar, que os tipos apresentados foram os que mais vezes apareceram sistematicamente nas classificações analisadas.

Guidicini e Niebler (1984) destacam que na maior parte das classificações referentes a movimentos de massa, o que mais está presente é a aplicabilidade regional de cada uma, ou seja, as categorizações criadas apresentam íntima relação com o ambiente e a região na qual foram observados os processos ali indicados. Tal fato reforça e ajuda a entender a existência de várias classificações presentes na literatura científica.

Ainda sobre as várias classificações existentes, vale ressaltar que essas por serem criadas por pessoas, é possível ter diferentes interpretações sobre determinado episódio, fato esse que pode vir a influenciar na elaboração e na constituição das categorias e tipos de movimentos presentes em cada uma delas.

Diante de tal apontamento, vale destacar que toda e qualquer classificação ou esquema proposto para categorizar os movimentos de massa apresentaram “grandes limitações, uma vez que na natureza os deslizamentos tendem a assumir formas bem mais complexas caracterizadas pela transição de limites rígidos entre as classes ou mesmo pela ocorrência de várias classes em um mesmo movimento.” (FERNANDES E AMARAL, 1996, p.130).

Os movimentos de massa se constituem de modo geral, como um processo de transporte de sedimentos encosta abaixo. Esse transporte desloca desde pequenas porções, até altos volumes de solos e/ou rochas, que são depositados nas partes mais rebaixadas do relevo, dependendo dos elementos físicos presentes em cada ambiente (PRESS et. al, 2013).

Têm-se que os movimentos de massa se caracterizam como um processo predominantemente físico, tendo sua ocorrência diretamente ligada aos solos. Os solos se constituem como a base por onde determinado tipo de agente erosivo (água, vento, gelo, temperatura) irá atuar, proporcionando assim algum tipo de movimento de massa. Esses movimentos se dão a partir do momento em que a força da gravidade excede a diminuição da força coesiva dos materiais da encosta, ocorrentes quando algum tipo de agente, anteriormente citado, auxilia para o acontecimento de tal processo (PRESS et. al, 2013).

Sendo os movimentos de massa definidos como “movimento de descida pela encosta abaixo, de material, sob a influência direta da gravidade” (WICANDER e JAMES, 2009, p. 243), esses, tem sua ocorrência ligada predominantemente às encostas, sejam essas naturais ou já alteradas.

Guerra (2011) corrobora que estudos em encostas naturais, por si só, são considerados complexos, uma vez que atuam nesses sistemas diversas variáveis (internas ou externas) que podem modificar e alterar o equilíbrio dessas encostas. Portanto, quando há a introdução da ação humana nesses ambientes, os estudos se tornam ainda mais complicados, uma vez que as transformações se dão de maneira mais rápida, e com modificações mais intensas. Assim, o autor salienta que mesmo que a literatura nessa área seja rica, a aplicação e o emprego de novas técnicas a serem utilizadas em estudos que visem a predição e/ou a diminuição dos riscos causados por movimentos de massa nas encostas, ainda são bem vistas e de grande aceitação dentro dessa seara.

3.2.4 Fatores condicionantes dos Movimentos de Massa.

A maneira de identificar a ocorrência de um movimento de massa está na capacidade de compreender e quantificar a relação existente entre a margem de estabilidade e a frequência e magnitude dos fatores desestabilizadores. O entendimento desses condicionantes que promovem a instabilidade das encostas torna-se importante, pois são estes que irão afetar a inclinação das vertentes, provocando assim a instabilidade das mesmas (GLADE e CROZIER, 2005).

Segundo Augusto Filho e Virgili (1998, p.245) a desestabilização de encostas “é controlada por uma cadeia de eventos, muitas vezes de caráter cíclico, que tem sua origem com a formação da própria rocha e toda sua história geológica e geomorfológica subsequente, como movimentos tectônicos, intemperismo, erosão, ação antrópica, etc.”.

De maneira geral, os tipos de fatores que ajudam no entendimento e compreensão das causas e do desenvolvimento de instabilidade de encostas, podem ser divididos em três grupos a se destacarem: **fatores prévios ou predisponentes, fatores preparatórios e fatores desencadeadores ou imediatos**, Figura 32. (GUIDICINI e NIEBLE, 1976; GLADE E CROZIER, 2005)

Os *fatores prévios ou predisponentes* são considerados condicionantes estáticos e inerentes (próprios) ao local de ocorrência do processo, estes funcionam como catalizadores permitindo que outros fatores desestabilizadores atuem de forma mais eficaz. Apresentam-se como exemplo desses, a declividade, geologia, solos, clima, vegetação, gravidade, dentre outros. Já os *fatores preparatórios* se caracterizam por serem dinâmicos, e por definição, diminuem a margem de estabilidade da encosta em uma margem de tempo sem realmente iniciarem o movimento. Assim, ajudados pelos fatores prévios, os condicionantes preparatórios são responsáveis, por mudarem o estado de uma encosta de "estável" para "marginalmente estável". Podem ser considerados fatores preparatórios, ação antrópica, precipitações e tectonismo de baixa intensidade. Por fim, os *fatores desencadeadores ou imediatos* são os causadores do início do movimento, ou seja, são os agentes que são capazes de mudar o *status* das encostas de "marginalmente estável" para "ativamente instável". São exemplos de fatores desencadeadores, tempestades, períodos prolongados de precipitação, derretimento rápido de neve, abalos sísmicos, dentre outros. (GUIDICINI e NIEBLE, 1976; GLADE E CROZIER, 2005).

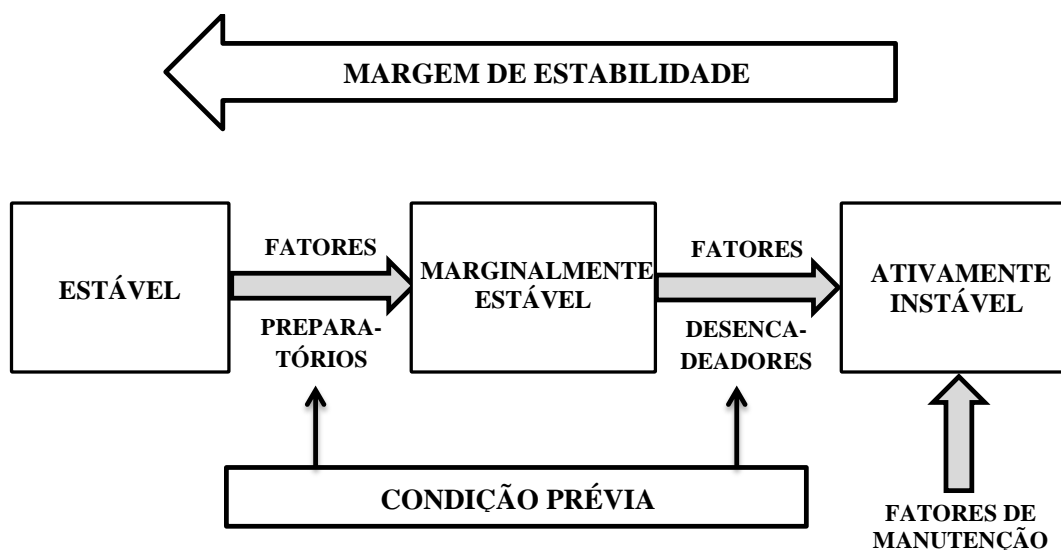


Figura 14: Estados de estabilidade e fatores desestabilizadores dos movimentos de massa. Fonte: adaptado e traduzido de Glade e Crozier, 2005.

Explicando o funcionamento e o desencadeamento relativo aos movimentos de massa em encostas, Wicander (2009, p.243), relata que existe um conjunto de forças e pesos de variados fatores, que são responsáveis pela ocorrência ou não desses processos. Segundo o autor,

Quando a força gravitacional, que age sobre uma encosta, supera a força de coesão do regolito ou da rocha (resistência à deformação) ocorre o colapso da encosta. Os fatores de coesão que ajudam a manter a estabilidade incluem a declividade, a coesão do material da encosta, o atrito entre os grãos e qualquer sustentação externa da encosta. Esses fatores, coletivamente, definem a **resistência ao cisalhamento** da encosta.

Na sequência a suas ponderações, Wincander (2009) apresenta alguns fatores os quais ele acha que podem funcionar como impulsionadores dos movimentos de massa, dentre eles se destacam: a declividade das encostas, a desagregação do material pelo intemperismo, clima, presença de água no ambiente, cobertura vegetal e ações antrópicas.

Vargas (2015, p.46) afirma que toda vertente procura estar sempre em equilíbrio dinâmico, e com as constantes mudanças e alteração na superfície das mesmas, fazem com que essas sofram constantes evoluções buscando tal estabilidade. A autora ainda apresenta que os movimentos de massa se comportam como uma das maneiras das vertentes se ajustarem às condições distintas, podendo estes movimentos ser impulsionados por fatores como: mudanças de declividade da vertente, saturação de água, mudança na cobertura vegetal, sobrecarga no local e a desagregação de material pela ação do intemperismo.

No Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC, 2011), por sua vez, no tópico destinado aos movimentos de massa, os elaboradores apontam como importantes fatores condicionantes desses processos, as intensas pluviosidades, a declividade, a geologia, os solos

e os fatores antrópicos. Desse último, destacam-se importantes ações como: retirada de vegetação, acúmulo de lixo, construção de edificações em encostas, vazamento de água e esgoto, corte de talude e aterros.

Mostrando-se como uma das mais completas e detalhadas listagem contendo as diferentes causas que podem propiciar a ocorrência dos movimentos de massa, Cruden e Varnes (1996), as subdividem em 4 (quatro) grupos, sendo elas: **causas geológicas, causas morfológicas, causas físicas e causas humanas**, as mesmas encontram-se elencadas e distribuídas na Tabela 4.

Tabela 1: Possíveis Causas de movimentos de massa segundo Cruden e Varnes, 1996.

Causas Geológicas	Causas Morfológicas	Causas Físicas	Causas Humanas
• Materiais Fracos	• Soerguimento tectônica ou vulcânica	• Precipitação Intensa	• Escavação do talude ou da base da vertente
• Materiais Sensíveis	• Recuo do Degelo	• Derretimento rápido da neve	• Sobrecarga do talude ou da crista
• Materiais Intemperizados	• Erosão fluvial na base da vertente	• Precipitação excepcionalmente prolongada	• Rebaixamento de reservatórios
• Material cortado (cisalhado)	• Erosão das ondas na base da vertente	• Rebaixamento rápida (inundações e marés)	• Desmatamento
• Material Aglomerado ou Fissurado	• Erosão glacial na base da vertente	• Terremoto	• Irrigação
• Descontinuidade na orientação da massa (acamamento, xistosidade, etc.)	• Erosão das margens laterais	• Erupção vulcânica	• Mineração
• Descontinuidade estrutural na orientação da massa (falha, inconformidade, contato, etc.)	• Erosão subterrânea (solução, "piping"- erosão tubular)	• Descongelamento	• Vibração artificial
• Contraste na Permeabilidade	• Deposição de sedimentos no talude ou na crista	• Intemperismo por Congelamento e Descongelamento	• Vazamento de água na vertente
• Contraste na Rigidez (material rígido e denso sobre materiais plásticos)	• Remoção de vegetação (fogo, seca)	• Intemperismo por expansão e contração	

Sestini (2000, p.20), no que se refere às circunstâncias possíveis de causarem o *start* dos movimentos de massa, apresenta de maneira específica que essas podem ser divididas em 6 (seis) variáveis, sendo que estas podem agir de maneira individual ou de forma interativa proporcionando a ocorrência dos diferentes tipos de movimentos de massa existentes. Diante disso, o autor aponta como sendo as principais variáveis:

- 1) **Variáveis Climáticas** - relacionadas principalmente à precipitação.
- 2) **Variáveis Geológicas** - considera a litologia da área e suas características estruturais (tipos de rochas, resistência ao intemperismo, presença de fraturas, descontinuidades das camadas das rochas).
- 3) **Variáveis Antrópicas** - relacionadas ao uso e ocupação do solo da área (agricultura, ocupações irregulares, desmatamento, queimadas, dentre outros).

- 4) **Variáveis Geotécnicas** - responsável pela interpretação e uso do conhecimento dos materiais da crosta terrestre (rebaixamento de reservatórios devido ao uso e consumo da água, escavação de taludes para a exploração de minerais dos solos, construção de estradas, criação de aterros, dentre outros)
- 5) **Variáveis Pedológicas** - correspondente ao estudo dos solos no seu ambiente natural (teor de argila, silte e areia, tipos de solos, características físicas e químicas, bandeamento e orientação das camadas de solos, etc.).
- 6) **Variáveis Geomorfológicas** - condizentes as formas de vertentes e fatores morfométricos (dissecação, declividade, amplitude do relevo, drenagem, exposição das vertentes, formas do relevo, dentre outras).

Oliveira (2009), após consultar várias bibliografias referentes a movimentos de massa, destaca que a predisposição à ocorrência desses processos nos diversos trabalhos analisados, podem ser agrupadas a partir de 4 (quatro) grandes classes, tendo características muito próximas ao que foi apresentado por Cruden e Varnes (1996):

- 1) **Condicionantes geológicas:** maciços de rocha, solos residuais e depósitos de colúvio e tálus;
- 2) **Processos geomorfológicos:** morfologia das encostas e dinâmica superficial;
- 3) **Processos físicos:** chuvas e influências do intemperismo e cobertura vegetal;
- 4) **Intervenções antrópicas:** atividades humanas comuns em encostas urbanas.

Dentre as diversas causas e motivos que podem levar ao início da ocorrência de processos relacionados aos movimentos de massa, que foram aqui apresentadas e expostas de acordo com vários autores, além dos inúmeros aspectos fisiográficos e naturais relatados, a influência e intervenção do homem no meio se comportou como sendo uma das principais responsáveis pela ocorrência dos deslocamentos de massa, sendo destacada em todos os trabalhos analisados (GUIDICINI e NIEBLE, 1976; CRUDEN e VARNES, 1996; AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998; SESTINI, 2000; GLADE e CROZIER, 2005; UFSC, 2011).

Tal realidade apresentada na análise dos trabalhos demonstra uma preocupação que assim como colocada por Castro et al. (2003), necessita de uma atenção maior para estudos relativos a movimentos de massa. Segundo o autor, devido ao fato dos desastres causados por deslocamentos de massa na maioria das vezes, apresentarem componentes mistos, relações intrínsecas entre variáveis naturais com variáveis antrópicas, os mesmos assumem características de evolução e ocorrência aguda, que os tornam cada vez mais difíceis de serem previstos, e conseqüentemente, de serem controlados.

Dando ênfase aos principais aspectos fisiográficos e naturais que se destacaram nos trabalhos analisados, as características relativas à presença de água no sistema, geologia e pedologia, declividade e ação da gravidade, se comportaram como os sendo fatores determinantes para a incidência de processos relacionados aos movimentos de massa, principalmente no Brasil, mais recorrentes nos trabalhos investigados.

No que se refere à presença de água no solo, Guidicini e Nieble (1984) coloca que a existência de escorregamentos está relacionada, principalmente com a ocorrência de chuvas intensas. Em suas palavras colocam que,

No meio tropical brasileiro, é de conhecimento generalizado a vinculação dos escorregamentos à estação de chuvas e, dentro dela, à ocorrência de chuvas intensas. Durante o verão, as frentes frias que se originaram na região polar antártica cruzam o Oceano Atlântico Sul, num ritmo cíclico de cerca de uma frente por semana. Ao se depararem com as massas de ar quente tropicais, ao longo da costa sudeste brasileira, tais frentes geram fenômenos de instabilidade atmosférica intensos, consistindo em fortes chuvas e tempestades. Tais chuvas acarretam, com certa frequência, erosão intensa e escorregamentos, não raro de caráter catastrófico. (GUIDICINI e NIEBLE, 1984, p.11)

A participação tanto da geologia quanto da pedologia como fatores que favorecem a ocorrência de movimentos de massa, perpassa pelas características desses fatores em uma dada região, nesse caso destacam-se: a permeabilidade para a transmissão de fluxos, propriedades mineralógicas, descontinuidade e conformação das camadas, resistência ao intemperismo e ao cisalhamento, profundidade e índices de saturação, dentre outros (SESTINI, 2000; OLIVEIRA, 2009; RODRIGUES, 2013).

A declividade, por sua vez, é uma importante condicionante para a ocorrência dos movimentos de massa, essas atuam como colocado por Wicander (2009), conjuntamente com a ação da gravidade, sendo que quanto maior a declividade, maior será a força da gravidade que age paralelamente à encosta, portanto, maior será a probabilidade de ocorrer processos gravitacionais de massa naquele local. Nessa linha de raciocínio Christopherson (2012, p. 401) dispõe da seguinte afirmação:

Se o ângulo da encosta for suficientemente pronunciado para que a gravidade supere as forças de atrito, ou se o material for deslocado pelo impacto de gotas de chuva, granizo, (...), ou equipamentos de construção, então ocorrem a erosão de partículas e o transporte encosta abaixo.

A ação da gravidade por sua vez, segundo Vargas (2015), se comporta como sendo uma força importante para a deflagração dos movimentos de massa. O poder exercido por ela sobre uma massa de solo e/ou rocha, com o auxílio de outros agentes, como a água, por exemplo, que funciona como lubrificante, provoca uma redução do coeficiente de fricção dos

materiais, fazendo com que os mesmos atinjam seu ponto crítico de falha e se desloque até as áreas de deposição.

Neste seguimento, Christopherson (2012) coloca que a ação da gravidade se comporta como uma **força impulsionadora** dos movimentos de massa, agindo em conjunto com variáveis como, peso, tamanho e forma do material da superfície. Destaca ainda que o grau em que a encosta excede seu ângulo de repouso e a quantidade e disponibilidade de umidade no sistema, são considerados requisitos para que a ação da gravidade exerça sua função.

Perante a análise dos diversos fatores e variáveis capazes de condicionar e impulsionar a ocorrência dos movimentos de massa, é possível concluir que nenhum deles sozinho consegue precisar ou definir a susceptibilidade de decorrer em um dado local, processos de deslocamento de massa. Com isso, para se realizar estudos que buscam identificar áreas propensas à ocorrência de algum tipo de movimento de massa, é necessário se fazer uma análise interativa entre o máximo de fatores condicionantes possíveis, verificando assim as prováveis combinações que possam vir a ocasionar processos de deslocamentos de massa.

3.3 Uso, parcelamento e ocupação do solo urbano: regulamentações e conflitos.

Nesse tópico serão apresentados alguns condicionantes presentes na interface da relação homem-natureza nas cidades, e possíveis problemas que possam vir a ocorrer a partir do uso e ocupação do solo urbano na realidade brasileira. No decorrer, dar-se-á um enfoque para a ocorrência dos escorregamentos e movimentos de massa no ambiente urbano, provocados na maioria dos casos por ocupação de encostas urbanas. Ao final será apresentada a legislação (Federal, Estadual e Municipal) que regulamenta o parcelamento do solo urbano, com destaque para as principais diretrizes e preceitos que fundamentam a ocupação e habitação nessas áreas.

Inicialmente, vale destacar que a associação de diversas políticas de industrialização, tanto por parte do poder público quanto do capital privado, e as alterações no setor agrário, como falta de políticas para fixação do homem no campo, estrutura fundiária monopolizada, produção em série de máquinas agrícolas e o fenômeno da grilagem das terras, dificultaram a permanência das famílias no campo, catalisando assim para o crescimento acelerado dos centros urbanos. Com esse aumento significativo da população nas áreas urbanas é possível observar um inchaço das cidades em um curto período de tempo, o que conseqüentemente, como afirma Barbosa e Nascimento Junior (2009), gerou enormes assentamentos humanos, em sua grande maioria, produzidos de forma desordenada.

A ocupação desordenada das cidades tem além de outras consequências, uma visível degradação do meio ambiente, com diversas alterações no comportamento da baixa troposfera (camada da atmosfera que está em contato com a superfície terrestre).

Guerra (2011) destaca que dentre os problemas ambientais mais evidenciados em áreas urbanas estão os processos erosivos, movimentos de massa e as inundações. Sendo tais perturbações as consequências de uma série de eventos nesses ambientes, o autor apresenta que:

As modificações executadas na paisagem para a implantação de cidades afetam diretamente a dinâmica hidrológica, alterando os caminhos por onde a água circula. A retirada da cobertura vegetal produz alterações muito drásticas no ciclo hidrológico, capazes de provocar grandes danos nas áreas urbanas. Quando a ocupação é de forma desordenada a degradação dos solos é maior. (GUERRA, 2011, p.57)

Monteiro (1990) afirma que as transformações geo-ecológicas ocorridas em determinado espaço, devem ser entendidas como alterações pelas quais o sítio¹⁴ passou com o processo de urbanização, juntamente com as formas primitivas naturais que se encontravam expostas naquele ambiente.

Impulsionado por possíveis problemas que possam vir a ocorrer nas cidades, devido à ocupação nessas áreas, estudos referentes aos condicionantes geoambientais e urbanos devem ser abordados pelas diversas áreas do conhecimento, tendo como principal objetivo identificar e relatar prováveis fenômenos que sejam capazes de vir a afetar a qualidade de vida e a beatitude da população dentro destes espaços.

Bueno (1998) apresenta que apesar dos centros urbanos serem considerados locais de desenvolvimento, progresso e de bem-estar social, a grande maioria desses espaços, não oferecem condições ambientais e físicas adequadas para que seus habitantes tenham uma boa qualidade de vida. Problemas como movimentos de massas, desconforto térmico, inundações, escassez hídrica, são apenas alguns exemplos de perturbações que habitantes dos centros urbanos podem encontrar.

A explicação para tais contradições encontradas nesses espaços está tanto na transformação do ambiente natural que ali se tinha antes da ocupação, quanto do ambiente construído que vem sendo criado desde o início da ocupação. A troca da vegetação pela construção de casas e pavimentos, e ocupação de novas áreas devido à expansão urbana, são alguns dos principais responsáveis pelos problemas que se destacam nessas localidades (BUENO, 1998).

¹⁴ Segundo Monteiro (1990), sítio é o espaço físico onde se instalada uma determinada cidade, este por sua vez, condiciona e expressa às características procedentes do relevo e da topografia.

A discussão de condicionantes geoambientais e urbanos é trabalhado por Almeida Junior (2005), como sendo variáveis de uma dada região ou superfície que podem modificar ou alterar as condições físicas de um ambiente. Os condicionantes que se destacam segundo o autor são: localização da cidade perante o sítio, uso e cobertura do solo, orientação de vertentes dentro do espaço urbano, altitude, declividade, direção e velocidade dos ventos, radiação solar, geometria urbana, formas de ocupações antrópicas, dentre outros.

A predisposição para a ocorrência de escorregamentos, principal foco de pesquisa desse trabalho, está intrinsicamente ligada a elementos do meio físico e, posteriormente a elementos do meio biótico (TOMINAGA, 2009b). Diante ao exposto, Tominaga (2009b) corrobora com o que foi colocado por Guidicini e Nieble (1984), onde os elementos que proporcionam a ocorrência dos escorregamentos são vistos como parte da dinâmica natural desses processos, porém, a ação humana desempenha grande influência, tanto na ocorrência de tal fenômeno, quanto minimizando seus efeitos, principalmente em áreas urbanas.

Guerra (2011) discorre que dependendo do tamanho e do tipo de intervenção no meio, seja ela em busca de práticas conservacionistas, ou atividades que possam vir a causar algum tipo de risco geomorfológico, os impactos advindos destas, podem causar grandes prejuízos e danos ao ambiente e aos seres humanos que ocupam tal espaço.

Destacando os problemas decorrentes da ocupação em encostas urbanas Guerra (2011, p.36) afirma que:

As encostas urbanas são talvez as formas de relevo mais alteradas nas cidades, principalmente em áreas que passem por um crescimento acelerado e desordenado. As respostas dadas pelo meio acontecem das formas mais variadas possível, sendo as mais nítidas aquelas em que são criadas cicatrizes de grandes movimentos de massa, resultantes da ocupação inadequada desses ambientes. A maior ou menor segurança das encostas está, principalmente, nas suas características intrínsecas, como forma, comprimento e também declividade, mas a ocupação e o uso da terra talvez sejam ainda mais críticos para a ocorrência de impactos ambientais do que as próprias características naturais das encostas, em especial em áreas urbanas.

A respeito dos problemas e conflitos resultantes do uso e ocupação dos solos em ambientes urbanos, existe no Brasil leis que por meio de suas normatizações, dispõe sobre preceitos e condições para a ocupação e habitação do solo urbano. Destacam-se nessa seara, a Lei Federal 6766/79, que dispõe sobre Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências, e leis propostas pelos Estados e Municípios, que estabelecem normas complementares relativas ao parcelamento do solo, adequando-se ao que está previsto na Lei 6.766/79, porém com suas peculiaridades regionais e locais.

Percebe-se que o não cumprimento ou até o desconhecimento das normas legais para ocupação das áreas urbanas, é uma realidade evidente em diversas cidades brasileiras. É

comum deparar-se com habitações e construções em locais inapropriados à instalação e moradas de pessoas, não levando em consideração àquilo que está previsto nas leis.

Tal fato é corroborado por Costa (2013, p.197), onde a autora afirma que “o modo como têm sido desenvolvidos os processos de regularização fundiária de ocupações irregulares em áreas de preservação, aponta para a consideração de fatores não dispostos em leis, mas surgidos com o contexto local das áreas de intervenção.”

Graeff (2011) salienta que as dificuldades de interpretação e de aplicabilidade das normas e técnicas de licenciamento ambiental, que cada vez mais desconsideram as noções geomorfológicas e naturais do relevo, acabam impossibilitando um maior controle de uso e ocupação de locais sobre regiões como o Cinturão Orogenético do Atlântico Sul (ROSS, 2006) e os Domínios dos Mares de Morros Florestados do Sudeste (AB'SABER, 2003), exemplificados pelo autor.

Em face dos problemas provenientes das ações de uso e ocupação desordenadas de áreas consideradas impróprias à habitação, somado à impasses na regularização e fiscalização da questão ambiental, principalmente em áreas urbanas, torna-se cada vez mais evidente a precariedade das condições de vida de diversas famílias, que ocupam por necessidade e/ou falta de recurso, locais inadequados à moradia, correndo risco de vida e de perda e danos materiais muita das vezes irreversíveis.

Diante do que foi discutido até o momento, e tendo como um dos objetivos específicos dessa pesquisa, destacar áreas com incongruência de uso (impróprias à ocupação), na área de estudo escolhida, tomando como base a legislação de uso e parcelamento do solo existente, pesquisou-se nas unidades governamentais (federação, estado e município) as principais leis e diretrizes que regem e regulamentam o uso e parcelamento do solo urbano. Após análise e investigação da legislação vigente, adotou-se como principais documentos a serem considerados: a Lei Federal 6766/79, o Decreto Estadual 44.646/07 e o Plano Diretor Participativo do município de São João Nepomuceno (Lei Complementar nº 6/2008).

A apresentação desses documentos vem no intuito de expor como são colocadas as normas e regulamentações presentes na legislação federal, estadual e municipal, que dispõem sobre o parcelamento e ocupação do solo urbano. Tal exposição possibilitará uma verificação do conteúdo presente na legislação, observando assim, diferenças e similitudes entre elas, principalmente no que tange a ocupação de encostas urbanas, que mais tarde serão utilizados como base para definir áreas passíveis ou inadequadas à ocupação na área urbana de São João Nepomuceno.

Iniciando pela Lei Federal nº. 6.766/79 (grifos do autor), que vigora em todo o território nacional, destaca em seu artigo 3º, parágrafo único, do primeiro capítulo, as áreas que não é permitido o parcelamento do solo em área urbana, deixando evidentes as seguintes situações:

- I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;
- II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
- III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;**
- IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;**
- V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

Já no Decreto Estadual 44.646/07, que como previsto na Lei 6766/79, apresenta as seguintes atribuições: disciplinar a aprovação pelos Municípios de loteamentos e desmembramentos de solos, definição de áreas de proteção especial e criação de normas que submetem projetos de loteamento e desmembramento. Nesse sentido, as regulamentações inerentes ao parcelamento dos solos urbanos, encontram-se definidas no segundo parágrafo, do art. 2º, capítulo I, onde não é permitido o parcelamento:

- I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e mediante autorização e outorga das autoridades competentes;
- II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
- III - em terreno com declividade igual ou superior a 47% (quarenta e sete por cento), observado o disposto no art. 3º;**
- IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;**
- V - em áreas de preservação permanente, salvo nos termos da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006, da Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, e mediante autorização do órgão ambiental competente;
- VI - em áreas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção;
- VII - em sub-bacias hidrográficas enquadradas na classe especial e na classe I, e em áreas de mananciais, de acordo com o disposto no art. 1º e no inciso VI do art. 4º da Lei nº 10.793, de 2 de julho de 1992;
- VIII - em zona de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral, conforme art. 49 da Lei Federal nº 9.985, 18 de julho de 2000;
- IX - em áreas total ou parcialmente ocupadas por vegetação nativa sem prévia autorização do órgão competente.

Como observado, no inciso III, existe um artigo que dispõe de algumas normatizações referentes a declividades do terreno. Nesse caso, se tratando de uma informação relevante para o estudo, é importante apresentar o que conta no art. 3º, do Decreto Estadual 44.646/07:

Art. 3º. O parcelamento de áreas com declividade superior a 30% (trinta por cento) e inferior a 47% (quarenta e sete por cento) somente será admitido mediante condições especiais de controle ambiental e comprovação da estabilidade do solo por meio de laudo geotécnico emitido por Responsável Técnico, devidamente acompanhado da referente Anotação de Responsabilidade Técnica - ART.

Parágrafo único. Os lotes localizados em declividade entre 30% (trinta por cento) e 47% (quarenta e sete por cento) deverão ter área mínima igual a quatro vezes a área mínima permitida pela legislação municipal ou estadual.

No que consta no Plano Diretor Municipal de São João Nepomuceno, aprovado como Lei Complementar nº 06, de 4 de Março de 2008, relativo ao parcelamento do solo urbano, encontra-se estabelecido em seu art. 106, situado no capítulo III, que “nenhuma modalidade de parcelamento do solo será permitida em áreas:”

- I - Alagadiças ou sujeitas à inundações;
- II - Alagadiças ou contínuas a mananciais, cursos d'água, represas e demais recursos hídricos sem prévia manifestação das autoridades competentes;
- III - Necessárias à preservação ambiental, como as áreas de cobertura vegetal significativa, topos dos morros e matas ciliares, e à defesa do interesse cultural e/ou paisagístico;
- IV - Necessárias à implantação de planos, programas e projetos essenciais ao desenvolvimento do Município;
- V - Sem condições de acesso e/ou atendimento por infra-estrutura básica adequada, salvo se previamente estabelecidas pelo loteador;
- VI - Cujas condições geológicas e hidrológicas não aconselhem a edificação;**
- VII - Cujas declividade natural seja igual ou superior a 45% (quarenta e cinco por cento);**
- VIII - Que tenham sido aterradas com materiais nocivos à saúde, antes de serem saneadas;
- IX - Que apresentem condições sanitárias inadequadas até a correção do problema;
- X - De preservação ambiental ou que contenham matas ou florestas, sem prévia manifestação favorável das autoridades competentes;
- XI - Invadidas ou com impedimentos jurídicos;
- XII - De beleza natural paisagística de interesse público;

Vale destacar que assim como no Decreto Estadual, o Plano Diretor são-joanense também conta com uma ponderação acerca da ocupação em locais de alta declividade. Apresentada no art. 107 do referido documento, em tal apontamento fica evidente que:

O parcelamento de áreas com declividades entre 30% (trinta por cento) e 45% (quarenta e cinco por cento) somente será admitido se oferecer segurança técnica de estabilidade do solo, confirmada através da apresentação de laudo geotécnico e projetos de contenção acompanhados de anotações de responsabilidade técnica.

No que tange a regulamentação referente à ocupação de encostas em áreas urbanas, percebe-se que existe uma diferença no valor da porcentagem de declividade definida e permitida para ocupação dessas áreas. Se for analisado desde a Lei Federal (de 1979), até o Plano Diretor Municipal da área de estudo (aprovado em 2008), passando pelo Decreto Estadual (de 2007), é possível notar um aumento no valor de declividade tolerável para o parcelamento do solo urbano.

Inicialmente como se observa na Lei 6.766/79, fica vetado à concessão para o parcelamento de encostas urbanas em “terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes”. Porém, quando se analisa o Decreto Estadual 44.646/07, a taxa de declividade permitida ao

parcelamento aumenta, não sendo aceitável em áreas com declividade igual ou superior a 47% (quarenta e sete por cento). O valor referente ao Decreto Estadual, portanto, não se difere muito do que é definido no Plano Diretor Participativo de São João Nepomuceno, segundo a Lei Municipal, nenhuma forma de parcelamento será autorizada em locais “cuja declividade natural seja igual ou superior a 45% (quarenta e cinco por cento)”.

Após exposto tais diferenças, vale aqui destacar, que nem o Decreto Estadual, e nem o Plano Diretor, deixam de se fundamentar na Lei Federal para criar suas normatizações. Até pela escala legislativa brasileira e de tempo existente, a Lei Federal 6.766/79 foi acatada e levada em consideração para a fundamentação e criação do Decreto Estadual e do Plano Diretor de São João Nepomuceno. Inclusive, tal estima e referência a Lei, se fez presente nas outras duas.

Tanto no Decreto Estadual 44.646/07, quanto no Plano Diretor Participativo são-joanense existem ponderações que complementam e exigem condições para o parcelamento do solo entre os valores definidos por elas, com a taxa de declividade estipulada pela Lei Federal 6.766/79. Em linhas gerais, fica especificado a necessidade de realização e apresentação de laudos e estudos, que comprovem a estabilidade do solo para o intervalo de 30 a 47% (por cento) definido pelo Decreto Estadual e, de 30 a 45% (por cento) como estipulado pelo Plano Diretor Municipal.

Levando em conta o que foi apresentado, destaca-se que a diferença observada e descrita do valor da taxa de declividade estipulada pela Lei Federal 6766/79, dos valores ponderados no Decreto Estadual e no Plano Diretor são-joanense, pode ser explicada por algumas razões e ocasiões que se apresentam após a interpretação de tais leis, relacionadas às várias condições fisiográficas das regiões e estados brasileiros, e também da realidade urbana e do meio físico presente nos municípios.

Dentre tais razões, a que mais se destaca e ajuda a entender a diferença existente na estipulação de valores de declividade, entre as leis estudadas, encontra-se definida logo no primeiro artigo da Lei Federal 6.766/79, onde em seu parágrafo único fica estabelecido que “Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto nesta Lei às peculiaridades regionais e locais”. Tal descrição, por si só, possibilita que cada estado e município, elabore uma legislação complementar *sui generis* (própria), contemplando assim suas especificidades e particularidades locais, desde que leve em consideração o que regulamenta e está previsto na referida lei de 1979.

Assim, levando em consideração a diversidade de paisagens e das características físicas e ambientais existentes no Brasil como um todo (AB'SÁBER, 2003; IBGE, 2009), mas também as várias particularidades encontradas dentro de cada estado brasileiro é possível verificar disparidades tanto da legislação federativa para a estadual, como de um estado para o outro.

Dentre as três leis que estão sendo analisadas, a que vigora em âmbito municipal, nesse caso o Plano Diretor Participativo, tem grande importância e poder jurídico para legislar e estabelecer diretrizes para o uso e parcelamento do solo urbano, uma vez que essa se encontra devidamente sustentada pelas outras duas leis. A de se salientar que, tanto a Lei 6766/79, como o Decreto Estadual 44.646/07, dão autonomia para que os municípios por meio de leis e/ou planos diretores, idealizem suas próprias normatizações referentes ao uso e parcelamento do solo e outras providências, de acordo com suas peculiaridades e necessidades, desde que tomem como referência a legislação vigente.

Inclusive, vale relatar que um mesmo artigo presente na Lei 6766/79, art. 3º, encontra-se transcrito também no Decreto Estadual 44.646/07, art. 2º, com o conteúdo de idêntico teor, que reforça e sustenta a autonomia dada aos municípios para criarem suas leis de parcelamento do solo. O mencionado artigo determina que “Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.”

Devido à obrigatoriedade de se ter um Plano Diretor, para cidades com mais de vinte mil habitantes, conforme consta no parágrafo 1º, art. 182 da Constituição Federal, as dissemelhanças e variações antes observadas entre a legislação no âmbito federal-estadual e estadual-estadual, como já destacado nesse tópico, tornam-se possíveis agora de serem encontradas em diretrizes e normas presentes em planos diretores de municípios de um mesmo estado, ou até mesmo entre municípios vizinhos, por exemplo, de acordo com as particularidades sociais, culturais, físicas, econômicas e ambientais, de cada um.

Tal preceito fundamenta a utilização de planos diretores municipais, como ferramenta de organização do espaço urbano. Assim, no caso aqui estudado, o Plano Diretor Municipal de São João Nepomuceno foi considerado um instrumento importante para a pesquisa aqui desenvolvida, bem como a Lei 6766/79, que por sua vez, se pronuncia como um documento base para a criação de estudos referentes ao parcelamento do solo municipal.

3.4 Escorregamentos e a sua relação com o Risco.

Inicialmente como colocado por Santos (2011), situações relacionadas ao termo risco em estudos mais pretéritos, eram evidenciadas a partir dos riscos naturais, havendo assim pouca atenção aos problemas ocorridos por intervenções humanas.

Antes, os riscos estavam atrelados ao perigo que determinados fenômenos naturais poderiam provocar à humanidade. A interpretação do risco não perpassava pelo interesse de investigar se o perigo existente estava sendo provocado por algum tipo de intervenção humana no meio, independentemente, a evidência e indicação dos fenômenos eram sempre definidas como **risco natural**. Assim, a ocorrência de um determinado evento indesejado, sendo interpretada como natural (resultante de uma casualidade), coloca a sociedade na qual este pode atingir à mercê e exposta ao acontecimento, uma vez que essa não conhece e não percebe o risco que pode vir a ser gerado (MATTEDI e BUTZKE, 2001).

Porém, de tempos para cá, estudos que discutem a temática dos riscos, passaram a ganhar destaque também na perspectiva social, os quais começaram a ser vistos também como possíveis **produtos sociais**. Como a abordagem natural do risco já esboçava em sua análise a probabilidade de ocorrência de eventos naturais cujas consequências poderiam ser prejudiciais para a sociedade, a perspectiva social do risco, não exclui a concepção natural, muito pelo contrário, ela busca interpretar e investigar a possibilidade da relação homem-natureza também desencadear processos que possam vir a ser prejudiciais para sua própria sociedade (BECK, 1992; VEYRET, 2007; TOMINAGA, 2009b; SANTOS, 2011).

Santos e Rosa Filho (2014) destacam que a ampliação de estudos envolvendo risco, incluindo o aspecto social, está atrelada a mudança do modo de vida rural para um modelo de crescimento urbano-industrial. Com os avanços gerados pelo desenvolvimento das sociedades e das técnicas, surgem problemas e questões que estão associados aos diferentes modos de vida.

Gonçalves (2003), em uma visão mais atual e abrangente, coloca que a existência do risco ocorre quando determinado evento, seja ele de caráter natural ou antrópico, proporciona perigos para uma dada comunidade.

Nesse aspecto, porém, não se deve confundir perigo como sinônimo de risco. O perigo (*hazards*) é compreendido como a probabilidade de um evento natural danoso ocorrer. Já o termo risco (*risk*) se caracteriza como a probabilidade de um perigo se transformar num desastre, ou seja, aumentando a frequência de ocorrência de um evento perigoso em um local onde a vulnerabilidade (fragilidade do ambiente socialmente construído) deste também é considerada alta, aumenta-se consideravelmente o risco de tal evento perigoso atingir a

sociedade deste local, transformando-se em um desastre. (VEYRET, 2007; MARCELINO, 2008, RODRIGUES, 2013).

Marcelino (2008, p.25) buscando diferenciar risco de perigo, apresenta um esquema bem didático que exemplifica tal diferença e como se compreende ambos os conceitos durante um dado evento, Figura 33.

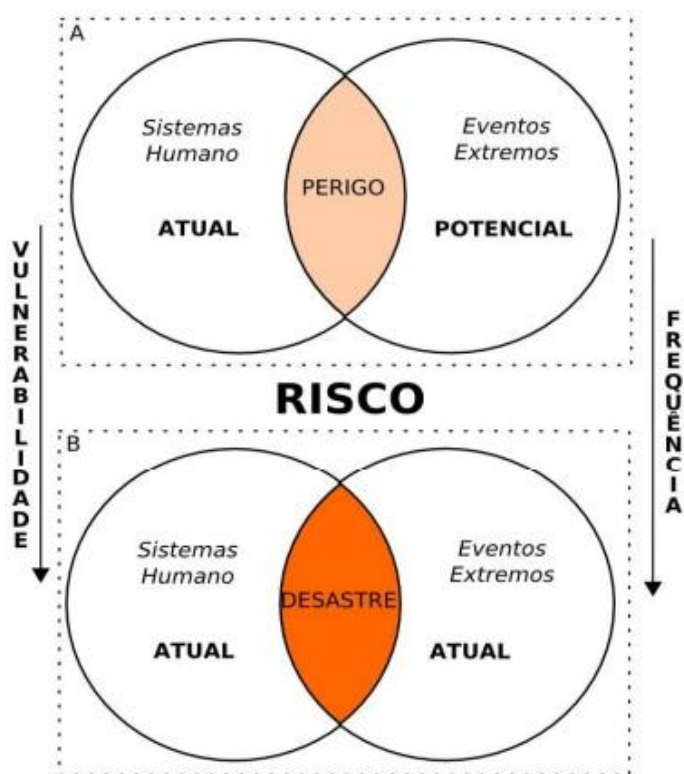


Figura 15: Relação entre perigo e risco. Fonte: Marcelino (2008), adaptado de Tobin e Montz (1997).

Observa-se então que o aumento da probabilidade do risco está associado diretamente à frequência com que ocorre um perigo e ao nível de vulnerabilidade de quem está submetido a sofrer as consequências de tal evento perigoso.

A vulnerabilidade, portanto, assim como colocada por Rodrigues (2013), trata-se de uma condição que define a capacidade de uma dada sociedade suportar os impactos de um dado evento indesejável (desastre), causando fatores sociais, econômicos, físicos e/ou ambientais.

Com isso, os riscos podem ser definidos como (VEYRET, 2007; MARCELINO, 2008; RODRIGUES, 2013):

$$\text{RISCOS} = \text{PERIGO} \times \text{VULNERABILIDADE}$$

Assumindo que os riscos devem ser considerados como a probabilidade de um evento desastroso no qual se estima perdas possa vir a ser concretizado, seu uso envolve uma

dimensão vasta. Pesquisas e estudos tendem a crescer, principalmente em decorrência dos múltiplos eventos que podem vir a provocar danos à vida humana, os quais ganham destaques os terremotos, vulcões, tsunamis e deslizamento de encostas, dentre outros (BRÜSEKE,1997; REBELO, 2003; VEYRET, 2007).

Destarte da concepção de risco apresentada anteriormente, pode-se relacionar o termo risco ambiental a possíveis eventos inesperados que podem ocorrer no ambiente. Segundo Veyret e Richemond (2007, p.63), os riscos ambientais “resultam da associação entre os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do território”.

Destaca-se que o termo risco ambiental começou a ser utilizado entre o fim do século XX e início do século XXI, fato ocasionado pela dificuldade da distinção entre riscos naturais e sociais, nas mais variadas escalas de análise (PUJOL e PALOM, 2006).

Cerri (2001) revendo a classificação feita por Cerri e Amaral (1998), onde os riscos ambientais eram subdivididos em três classes: riscos tecnológicos, riscos naturais e riscos sociais, propõe agora uma nova divisão acerca dos riscos ambientais, sendo este agora dividido em duas classes: riscos naturais e riscos antrópicos, conforme a Figura 34.

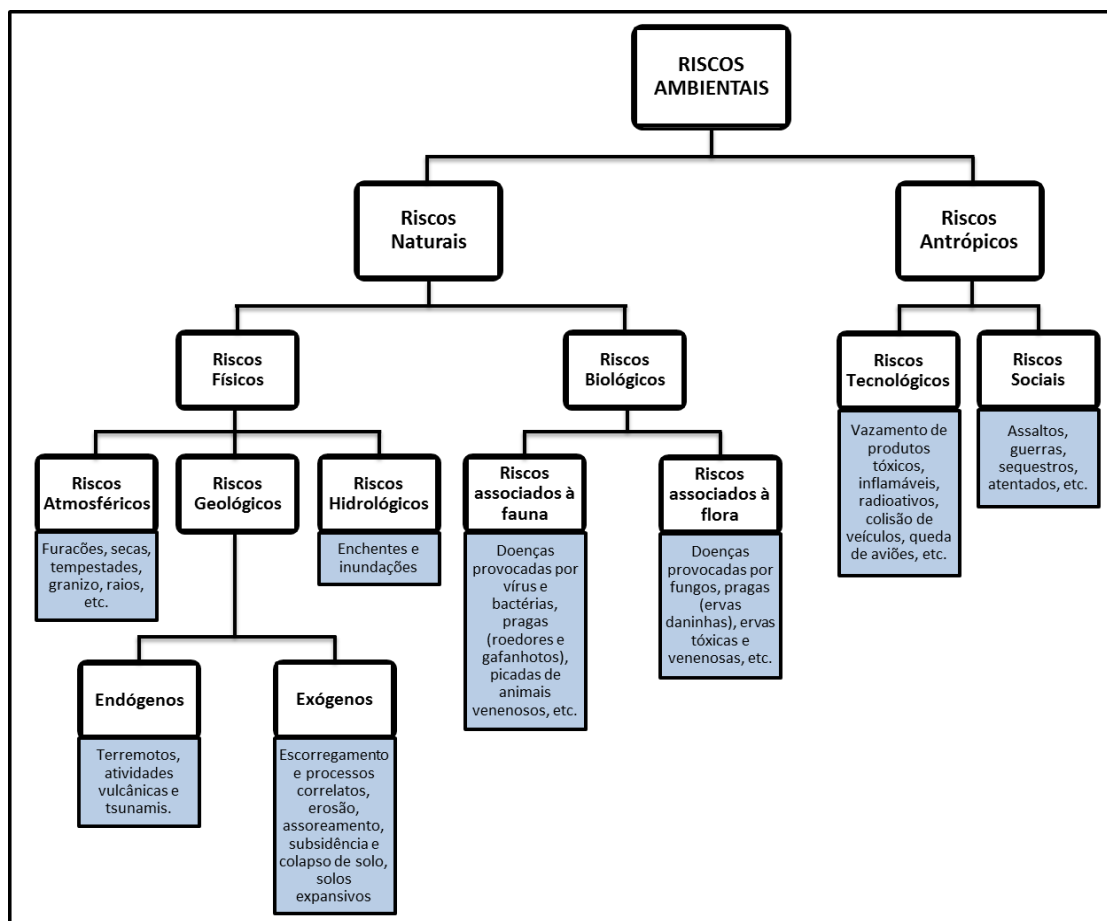


Figura 16: Classificação dos Riscos Ambientais, segundo Cerri (2001).

Em contra partida tal divisão dos riscos ambientais, em naturais e antrópicos (sociais) pode ser considerada forçada. Dos Santos; Rocha; Andrade (2015), inclusive assumem que tal divisão,

[...] apesar de ser feita para facilitar o entendimento dos tipos de riscos, alguns processos podem estar inseridos em mais de um grupo de riscos. Por exemplo, as inundações podem ter causas naturais, gerada por uma forte chuva, que pode ter como consequência o aumento do nível de cursos d'água. Porém, só há risco devido às ocupações humanas localizadas próximas aos cursos d'águas. Portanto, tal risco tem origem tanto em questões sociais como naturais.

Nesse caso, como a dissertação perpassa por um debate acerca da probabilidade de ocorrer escorregamentos de massa em ambiente urbano, a mesma enquadra perfeitamente na discussão levantada pelos autores acerca da origem dos riscos nesses locais. Nesse caso, o processo que aqui se investiga, pode ser proveniente tanto de questões sociais (que ocupam áreas impróprias, por exemplo), quanto de adversidades ambientais (busca de equilíbrio da encosta, erosão, etc.).

Assim, diante da interação existente entre os variados fatores de risco social e/ou natural, é válido reiterar que esses podem estar presentes simultaneamente em diversas categorias de análise, não sendo aceitável, portanto, a investigação de forma isolada e anárquica destes fatores. Tal fato por sua vez, tem maior evidência em estudos de riscos cujo sentido e gerência acontece na dimensão do espaço vivido, como se observa em pesquisas que visam identificar áreas de risco a escorregamentos em ambientes urbanos, por exemplo.

Nesse sentido, Nogueira (2002, p. 58) interpreta os **riscos ambientais urbanos** como:

[...]a condição potencial de ocorrência de um acidente que possa causar perda ou dano a uma população (pessoas, estruturas físicas ou sistemas produtivos) ou segmento desta, em função de degradação ou disfunção do ambiente urbano (meio físico transformado + ambiente construído).

Ross (2010) coloca que em sistemas ambientais naturais os quais estão sujeitos a intervenções humanas irão apresentar uma maior ou menor fragilidade de acordo com as particularidades originais da área e as ações que são exercidas sobre a mesma.

Neste caso, nota-se que o risco ambiental urbano está atrelado, principalmente, a situações decorrentes das ações antrópicas presentes em um dado local, uma vez que os elevados índices de uso e exploração ambiental podem provocar situações de extremo risco à sociedade ali instalada. Levando em conta que as estruturas ambientais são frequentemente submetidas a processos intensos de equilíbrio de suas formas, algum desses pode vir a atingir tal população, sendo capaz de ocasionar danos e perdas muita das vezes irreversíveis.

Esses processos de busca estabilidade natural das estruturas, como colocado por Bitar (1995), elevam a probabilidade de ocorrência de eventos indesejáveis, sejam esses provocados

por causas naturais ou impulsionado por ações sociais, os quais se destacam os processos erosivos, as enchentes e inundações, os deslocamentos de massa, dentre outros.

De acordo com Martini *et al.* (2006), diversos são os tipos de metodologias que podem vir a ser aplicados para determinar a susceptibilidade de um dado local à ocorrência de escorregamentos. Portanto, segundo os autores, as abordagens que avaliam o histórico da ocorrência dos eventos na área, correlacionando esses acontecimentos com possíveis fatores condicionantes e tempo de recorrência, se colocam como os melhores modelos para estabelecer e definir áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos, por exemplo.

3.5 Modelagem Matemáticas para análise de Estabilidade de Encostas.

Devido às variadas limitações encontradas para mensurações, monitoramentos e experimentos de campo, principalmente na geografia física, as quais podem estar associadas a razões como, escassez de dados em escalas espaciais e/ou temporais, aos custos para realizar tais estudos e também problemas de acesso aos dados, o uso da modelagem se coloca como uma ferramenta científica interessante para a complementação e sequência de vários estudos nas áreas de geomorfologia, climatologia, geologia, biogeografia, etc. (FERNANDES, 2016).

Fernandes (2016) afirma que para estudos onde tem o interesse por investigar e analisar sistemas ambientais, caso da pesquisa em curso, os modelos se colocam como um instrumento interessante, que vem sendo constantemente utilizado em três situações: para a predição, para retrodição e para testes de hipóteses. A primeira situação simula a condição de um dado sistema onde se objetiva prever seu comportamento futuro. A retrodição tenta interpretar como eram as condições pretéritas de sistemas ambientais que já não existem mais. E por fim, nos testes de hipóteses, os modelos se colocam como ferramentas que simulam a reação de um dado sistema acerca de uma hipótese ou conjectura pré-definida, examinando assim o comportamento dos parâmetros e variáveis presentes neste (FERNANDES, 2016).

Christofolletti (1999, p.8) ao discutir a utilização de modelagens em geral, deixa claro que “não é a realidade em si que se encontra representada, mas sim a nossa visão e a maneira de como percebemos e compreendemos essa realidade”. Assim, as modelagens devem ser compreendidas como uma representação simplificada da realidade, que baseada em uma descrição formal de variáveis, objetos e processos, possibilitam reconstruir uma realidade, prever um comportamento, uma transformação ou evolução de um sistema ou fenômeno ao qual se investiga (CHRISTOFOLETTI, 1999; LOPES, 2006).

Apresentando as vantagens da utilização das modelagens, Haggett e Chorley (1967) *apud* Christofolletti (1999), colocam que essas são consideradas valiosas por terem a

capacidade de obscurecerem detalhes acidentais que possam ocorrer em um dado local, e por permitirem a aparição de aspectos fundamentais da realidade, que muitas das vezes não são observados. Nesse sentido, a indicação do grau de probabilidade e condições passíveis de ocorrência do fenômeno que se investiga, perpassará pela seletividade das variáveis e da estruturação do modelo aqui utilizado.

Zaidan (2006, p.17) afirma que “uma das maneiras de se prever os movimentos de massa é através da utilização dos modelos que podem representar, simular, prever a susceptibilidade e até mesmo o risco desses processos sob a população”.

Sendo a ocorrência de escorregamentos condicionada pela relação de diversos fatores deflagradores, a utilização da modelagem se coloca como uma ferramenta significativa para análise de sistemas complexos. Uma vez que, a aplicação de modelos permite correlacionar e interligar diversas variáveis ao mesmo tempo, estes tentam estruturar de maneira simplificada a representação do processo estudado no espaço, mediando-se por parâmetros e variáveis apontados pelo modelo ao qual se utiliza, ou até mesmo pelo modelador (HARVEY, 1969; CHRISTOFOLETTI, 1999; VIEIRA e MARTINS, 2016).

A criação de mapas que objetivam identificar áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos, a partir da correlação dos fatores condicionantes destes processos, servem como uma estratégia interessante para um melhor planejamento do uso e ocupação da superfície urbana. Além disso, os mapeamentos também são ferramentas que, geridas e utilizadas de maneira correta, podem amenizar e reduzir possíveis perdas socioeconômicas acarretadas de algum tipo de movimento de massa, por exemplo.

Neste sentido, Fernandes e Amaral (1996, p.171) colocam que para alcançar uma boa previsão de processos relacionados aos movimentos de massa e posterior redução de suas consequências, é necessário obter um “conhecimento detalhado da frequência, características e magnitude dos deslizamentos em uma dada área geográfica.” Tal conhecimento, segundo os autores, depende de uma descrição e caracterização de qualidade dos condicionantes de deslizamentos passados, para que se possa realizar análise satisfatória de risco a movimentos futuros.

Documentos de investigação e métodos de análise relativos à ocorrência de deslizamentos de massa se colocam como etapas fundamentais que garantem o registro dos processos ocorridos no passado e no presente, gerando inclusive dados e informações que possibilitam uma maior previsão de ocorrência dos deslizamentos no futuro. Paralelamente, o levantamento de dados e informações, também serve de base para a utilização e aplicação da modelagem física referente aos processos de movimentos de massa, o que gera um avanço e

um maior conhecimento sobre o mecanismo de tais processos (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Fernandes *et al.* (2001) aponta que os principais procedimentos utilizados para a análise de predição de áreas susceptíveis a deslizamentos podem ser englobados em 4 (quatro) grupos distintos, sendo eles: 1) **Análises a partir da distribuição dos deslizamentos no campo**; 2) **Análises a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos**; 3) **Modelos com bases estatísticas**; 4) **Modelos matemáticos em bases físicas**.

O método de “Análise a partir da distribuição dos deslizamentos no campo”, se coloca a partir da distribuição e identificação das cicatrizes de deslizamentos recentes, os quais sugerem áreas e futuros padrões de comportamento e ocorrência de movimentos. Já as “Análises a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos”, representam a criação de um mapa de susceptibilidade obtido a partir da combinação de mapas, em que de um modo geral, são atribuídas notas e pesos aos diversos fatores condicionantes que podem vir a influenciar a instabilização das encostas. O terceiro método, baseado na utilização de “Modelos com bases estatísticas”, tem como princípio norteador a existência de relações funcionais entre os fatores condicionantes da instabilização e a ocorrência dos deslizamentos na paisagem, nesse caso, assume-se aqui que os fatores que causaram a instabilidade em certo local no passado serão os mesmos que poderão provocar futuros deslizamentos. Por fim, os “Modelos matemáticos em bases físicas”, se apoiam na projeção dos fenômenos no tempo e no espaço, onde as características importantes de um dado processo ou fenômeno são abstraídas por uma expressão matemática que contemplará, a partir de variáveis, parâmetros e constantes, a predição de tal situação ocorrer, levando em consideração a relação desta com o mundo real. (CHRISTOFOLLETTI, 1999; FERNANDES *et al.*, 2001; NERY, 2011)

Estudos intencionados a prever áreas de risco de movimentos de massa, por meio dos modelos, encontram-se relacionados, sobretudo, a partir da década de 1980, com a introdução de computadores, à utilização das geotecnologias (Sistemas de Informações Geográficas, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Aerofotogrametria) em consonância com uso de modelos matemáticos e estatísticos, consolidados sobre bases físicas, tendo como elementos estruturadores modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994; PACK *et al.*, 1998; CHRISTOFOLLETTI, 1999; FERNANDES *et al.*, 2001; ZAIDAN e FERNANDES, 2009).

Partindo da premissa que dificuldades para realizar estudos ambientais são inúmeras e imprevisíveis, como por exemplo, tempo (clima), disponibilidade de dados, tamanho da área de estudo, estrutura para realização do trabalho, recursos financeiros, disponibilidade de

peessoas, dentre outras, Ahrendt (2005) aponta que a escolha do tipo de método de análise é fundamental para ter um bom resultado em sua realização.

Ciente de que os métodos aqui apresentados possuem vantagens e desvantagens referentes ao seu uso, execução e resultados obtidos. Adotou-se para a sequência dessa pesquisa o método de análise baseado na aplicação de modelos matemáticos em bases físicas, com o intuito de identificar áreas com probabilidade de risco de escorregamentos para o entorno e área urbanizada de São João Nepomuceno-MG.

A escolha dos modelos matemáticos em bases físicas se dá em muita das vezes, dentre outros motivos, pela objetividade e poder de decisão que desconsidera a opinião direta e subjetividade do pesquisador, assim como colocado por Vieira (2007, p.3), onde “a aplicação de modelos matemáticos em bases físicas, frente às demais abordagens, é considerada mais objetiva, em função da aplicação direta de equações que descrevem fisicamente os processos desconsiderando a opinião subjetiva e direta do pesquisador”.

Além disso, a modelagem matemática, segundo Oliveira (2009), apresenta melhores resultados quando aplicadas em áreas menos extensas. No caso deste trabalho, como o local estudado é considerado pequeno, cerca de 10 km² de área, acredita-se que o modelo utilizado apresentará respostas satisfatórias para alcançar os objetivos aqui propostos.

Listo (2016) coloca que os modelos matemáticos quando aplicados em estudos relativos a escorregamentos, tem como sustentáculo os modelos de estabilidade de talude, onde trazem consigo informações acerca das encostas e se baseiam nos princípios da mecânica dos solos, analisando assim áreas propensas a rupturas por meio de cálculo do Fator de Segurança (FS)¹⁵.

Os modelos matemáticos fundamentados na relação entre modelos hidrológicos e modelos de estabilidade de encostas, consolidam seus mapas preditivos de escorregamentos, segundo Lopes (2006), a partir de Modelos Numéricos de Terreno (MNT), tendo a altimetria um peso importante para a identificação de área instáveis, uma vez que, fatores condicionantes como declividade e área de contribuição, são derivados desta.

Nessa linha de observação, Michel; Kobiyama e Goerl (2012, p.19), afirmam que a topografia,

[...] além de representar a declividade do terreno, rege as linhas de fluxo, indicando os locais onde haverá maior concentração de água e conseqüentemente maior

¹⁵ Define-se como Fator de Segurança (FS), a razão entre as forças de resistência (que tendem a manter o sedimento imóvel) e a tensão de cisalhamento (que forçam os sedimentos a se movimentarem talude abaixo). Valores de FS maiores que 1 indicam estabilidade, menores do que 1 indicam instabilidade e igual a 1 indicam condições limites de estabilidade.

Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7336/7336_6.PDF. Acessado em: 17/11/2017.

probabilidade de falha. É evidente a necessidade de dados topográficos de qualidade que tenham a capacidade de gerar um MDT que represente verdadeiramente as condições do relevo local e aperfeiçoe o resultado da modelagem.

Contudo ainda, os autores citados no parágrafo anterior concluem que “a modelagem matemática tenta, através da análise de dados topográficos, pedológicos e hidrológicos, descrever os processos envolvidos na estabilidade das encostas.”

Estando, portanto, resultados da modelagem atrelados à relação e correlação de variados condicionantes, seu desenvolvimento e resposta tem sido possível graças ao auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permite além de umas coisas, manusear um volume considerável de dados e cálculos envolvendo o estudo de estabilidade em encostas (AHRENDT, 2005).

Valendo-se de uma discussão voltada para a aplicação da modelagem nesse estudo, destaca-se a modelagem matemática em bases físicas, pode ser dividida em três tipos, segundo Christofletti (1999), sendo eles: determinísticos, probabilísticos ou estocásticos e de desenho experimental (otimização). No que se refere ao uso destes para estudos correspondentes aos escorregamentos, dois deles ganham destaque para o mapeamento de áreas susceptíveis: os modelos estocásticos e determinísticos (DOURADO, F.; ROIG, H, 2013).

Havendo diferenças entre ambos os modelos mencionados no parágrafo anterior, as quais serão posteriormente mencionadas, a escolha por um ou outro como o tipo de método de análise a ser adotado, basicamente define o tipo de modelo, *software* (programa) a ser utilizado na modelagem de predição a escorregamentos. Dentre os vários tipos de *software* existentes, Listo (2016) afirma que:

Dos modelos matemáticos para a previsão de graus de suscetibilidade das encostas, destacam-se os modelos SHALSTAB (Shallow Landslide Stability) (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994); SINMAP (Stability Index Mapping) (PACK et al., 1998) e TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional) (IVERSON, 2000 e BAUM et al., 2002).

3.5.1 Tipos de Modelos Matemáticos utilizados para a identificação de áreas propensas à ocorrência de escorregamento:

Sendo os modelos estocásticos e determinísticos, considerados tipos distintos dentro da modelagem matemática, que podem ser aplicados em estudos para a predição de áreas propensas a escorregamentos, vale aqui então, apresentá-los, conceituá-los e diferenciá-los, como forma a justificar a escolha de um destes nessa pesquisa, bem como o *softwares* (programas).

Inicialmente vale ressaltar que ambos os tipos buscam por meio de equações matemáticas variadas, representar processos naturais, verificados de acordo com o que é relatado no mundo real. Sendo assim, o resultado correlativo ou divergente entre o real e a predição do modelo que irá indicar o sucesso e o quão bom é o mesmo em relação ao mundo real (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Rennó e Soares (2000) diferenciam ambos a partir dos tipos de variáveis utilizadas em cada modelagem. Nesse escopo, quando alguma variável tiver um comportamento aleatório (podendo apresentar duas ou mais interpretações), que possibilite diferentes valores de saída, o modelo é visto como estocástico. E caso não haja variáveis aleatórias (onde cada variável já tenha seu valor definido), ou se houver, e essa ainda for capaz de produzir um único valor de saída, o modelo é considerado determinístico.

Buscando reforçar ainda mais a diferença entre ambos os modelos, Rennó e Soares (2000) apresentam que se houver a probabilidade de mudança no teor de uma variável o modelo é considerado estocástico, e quando o conceito de probabilidade não for considerado, ou seja, o conteúdo de uma variável não se alterar, o modelo ali produzido deve-se ser considerado determinístico.

Vialli (2016) corrobora com tal definição ao ponto que considera que ambos modelos se diferenciam no que se refere aos tipos de entrada de dados e ao resultado de saída que será gerado a partir destes. Nesse sentido, a aleatoriedade de uma ou mais variáveis, e o resultado gerado a partir destas, irá definir o tipo de modelo.

Os modelos estocásticos (probabilístico) apresentam segundo Vialli (2016), “uma ou mais variáveis aleatórias como entrada”. Neste caso, destacam-se os modelos estocásticos, como sendo um sistema aberto, cuja sua complexidade encontra-se estabelecida acerca de alguma variável que atue sobre o sistema, a qual não se tem controle sobre a mesma, uma vez que seu comportamento pode apresentar diversas variações. Segundo o referido autor, a simulação probabilística encontra-se mais próxima da realidade presente em cada sistema.

Dourado e Roig (2013) destacam que a probabilidade de um escorregamento ocorrer é calculada pelo modelo estocástico a partir do cruzamento de variáveis (como por exemplo: uso e ocupação do solo, geologia, geomorfologia, classes de declividade, etc.), baseado na análise dos dados históricos. Destacam que a escala de probabilidade de ocorrência a ser apresentada por esse modelo será dada mediante a atribuição de pesos a cada parâmetro presente no estudo.

Segundo ainda os autores embasados no parágrafo acima, diferentemente do modelo estocástico, o cálculo para a identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos para o

método determinístico, se dá mediante à parâmetros físicos do meio (altimetria, geologia, tipos de solo, pluviosidade, etc.). A partir dos valores resultantes do processamento dos parâmetros utilizados, são definidas classes de susceptibilidade, considerando os limites de segurança estabelecido pelo modelo.

É interessante ressaltar que o modelo determinístico se dá por meio de um conjunto de entradas (variáveis), das quais resultará em um único conjunto de saída (VIALLI, 2016). Nesse caso, como as variáveis trabalhadas no modelo não são aleatórias (na maioria dos casos), seu resultado final não apresenta grandes estimativas.

Diante do que foi apresentado aqui é possível afirmar que a diferença entre modelos estocásticos e determinísticos assim como colocado por Perin Filho (1995) é influenciada pela qualidade da informação, pela restrição existente em cada sistema e pelo objetivo que se busca alcançar com o estudo. Nesse caso observa-se que para os modelos estocásticos as simulações pode haver oscilações em suas previsões mediante a inconstância de suas variáveis. Já para o modelo determinístico assume-se que as simulações são previsíveis, uma vez que suas variáveis são específicas e invariáveis.

A partir do que foi descrito sobre a modelagem matemática, e dos tipos de modelos pertencentes a ela, utilizou-se para o desenvolvimento desta pesquisa a modelagem matemática em bases físicas, a partir do modelo estocástico.

Como justificativa, a escolha de tal modelo, se deu primeiramente, por ser considerado um modelo que a partir de suas configurações e variáveis, busca simular situações que sejam bem próximas da realidade existente em cada sistema. E em segundo lugar, como o *software* SINMAP, o qual pretende-se utilizar neste trabalho, tem sua configuração e parâmetros desenvolvidos sobre a modelagem estocástica, a escolha do modelo fica intrinsecamente definida a partir da escolha do *software*.

3.5.2 Modelo SINMAP

O SINMAP (Stability Index Mapping), desenvolvido por Pack; Tarboton e Goodwin (1998), de acordo com informações retiradas do site (<http://hydrology.usu.edu/sinmap/>), se caracteriza como um modelo estocástico para mapeamento de índices de estabilidade em encostas, alicerçado sobre o conceito de modelo hidrológico de estado uniforme (*steady-state*) e no modelo de vertente infinita.

O mesmo se comporta como uma extensão do *ArcMap* (entrada de licenciamento básico do *software ArcGis by ESRI*), o qual constitui a partir da computação o mapeamento de

índices de estabilidade de encostas com base em informações e parâmetros geográficos, principalmente dados de elevação digital.

Como colocado por Pack *et al.* (2005), o modelo SINMAP estrutura sua classificação de probabilidade à ocorrência de escorregamentos, de acordo com a instabilidade da área estudada, adotando assim como principais fatores: a variação espacial da declividade e do índice geomorfológico (ambos extraídos do MDE de entrada), associados a parâmetros climáticos e pedológicos. Segundo Nery (2011, p.29) “outro parâmetro utilizado pelo modelo são os dados de incerteza, sendo eles reconhecidos como limites inferiores e superiores”.

Pelo fato dos parâmetros ligados, principalmente, à precipitação e aos tipos de solos presentes na área, poderem apresentar variações e incertezas associadas aos seus valores, o modelo trabalha com limites máximos e mínimos para estes parâmetros, que o torna de característica estocástica (MICHEL, 2011; MICHEL; KOBIYAMA e GOERL, 2012).

Os principais parâmetros de entrada do modelo SINMAP para a definição dos índices de estabilidade (IE), segundo Pack *et al.* (2005) podem ser divididos em dois grupos: parâmetros constantes, onde os valores de entrada são únicos, não tendo variação. E os parâmetros de incerteza, com variações máximas e mínimas nos valores de entrada do modelo, antes de sua aplicação.

A Tabela 5, apresenta os principais parâmetros adotados no modelo SINMAP, bem como a simbologia destes nas equações, suas unidades de medida, e os valores de cada parâmetros, caracterizando se esses são constantes ou de incerteza.

Tabela 2: Principais parâmetros de entrada do modelo SINMAP, de acordo Pack *et al.* (2005).

	Nome do Parâmetro	Sigla	Unidade de Medida	Valor
1	coesão da raiz	(Cr)	[N/m ²]	Máximo e Mínimo
2	coesão do solo	(Cs)	[N/m ²]	Máximo e Mínimo
3	ângulo de declividade da encosta	(θ)	[graus]	MDT
4	densidade do solo úmido	(ρS)	[kg/m ³]	constante
5	densidade da água	(ρW)	[kg/m ³]	constante 1000 kg/m ³
6	razão entre a transmissividade e taxa de recarga efetiva	(RT)	[m]	Máximo e Mínimo
7	aceleração da gravidade	(g)	[m/s ²]	constante 9.81 m/s ²
8	espessura do solo	(P)	[m]	constante
9	profundidade vertical do solo	(z ou D)	[m]	constante
10	altura da coluna d'água dentro da coluna de solo	(h ou Dw)	[m]	Máximo e Mínimo
11	ângulo de atrito interno do solo	(ϕ)	[graus]	Máximo e Mínimo

Ao se basear no modelo de vertente infinita, o SINMAP compara os componentes desestabilizadores da gravidade e os componentes restauradores do atrito e da coesão do solo num plano falho paralelo à superfície do terreno, para que seja possível identificar e classificar as áreas de instabilidades (PACK et al., 1998; NERY, 2011).

Segundo Michel (2011), o modelo de vertente infinita, Figura 35, “baseia-se na Lei de Mohr-Coulomb, no momento da ruptura de uma encosta, o peso do solo torna-se igual a resultante das forças estabilizadoras”. Assim, estabilidade do talude dependerá da resistência ao cisalhamento do tipo de solo presente nele.

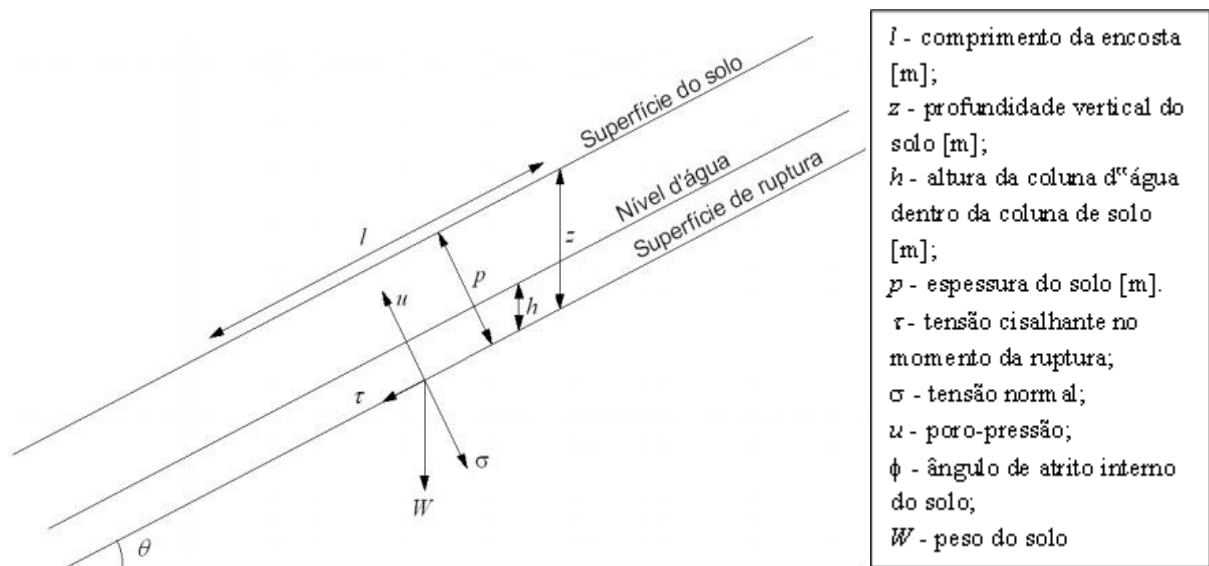


Figura 17: Representação de modelo de estabilidade de vertente infinita. Fonte: Michel (2011), adaptado de Selby (1993).

Como já ponderado, as condições de estabilidade da encosta são diretamente influenciadas por fatores hidrológicos, que por sua vez, em consonância com o modelo de vertente infinita, ocasionarão a probabilidade de formação de superfície de ruptura no talude.

Nesse sentido, destaca-se o modelo hidrológico de estado uniforme (*steady state*), Figura 36, o qual retrata a zona de saturação causada pela concentração da precipitação de toda uma área drenada, para somente uma parcela desta, onde o fluxo subsuperficial de água é constante (VIEIRA, 2007).

Segundo Michel; Kobiyama e Goerl (2012, p. 5), tal modelo hidrológico “assume um estado uniforme de recarga que simula o padrão de variação espacial da umidade (altura da coluna d'água) que ocorre durante uma época chuvosa.”

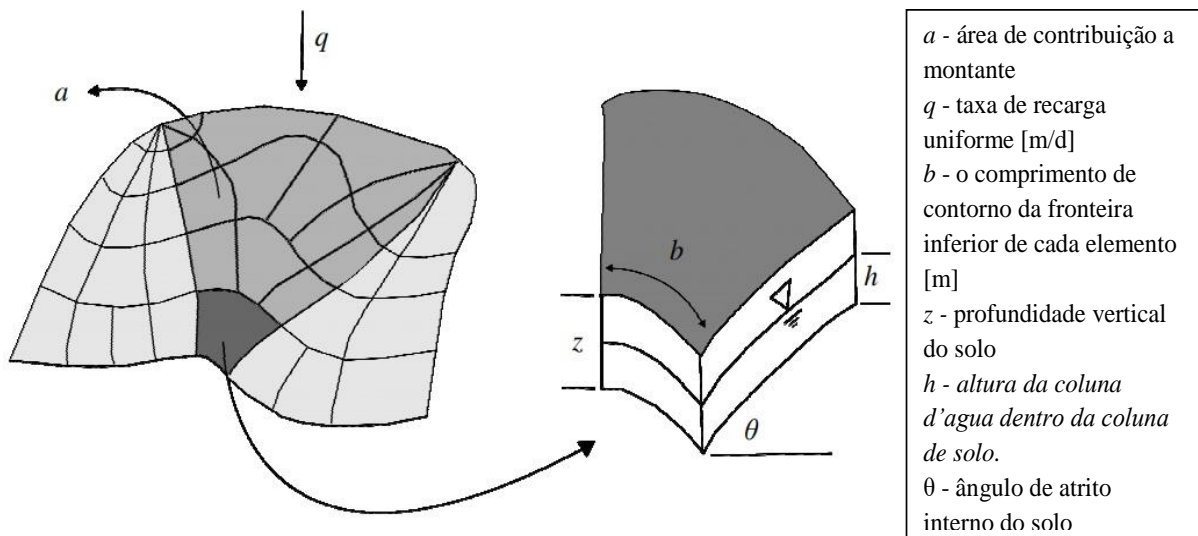


Figura 18: Representação do modelo hidrológico. Fonte: Michel (2011), modificado de Montgomery e Dietrich, 1994)

Contudo, Nery (2011) coloca que o modelo SINMAP, fundamenta suas classes de estabilidade, a partir do fator de segurança ou IE (Índice de Estabilidade, em inglês *stability index* (SI), sendo esses definidos como a probabilidade estável de uma encosta, sendo seu coeficiente interpretado pela distribuição uniforme dos parâmetros sobre certas margens de incertezas. O fator de segurança varia entre 0 (mais instável) e 1 (mais estável), conforme Tabela 6.

Tabela 3: Classes dos índices de Estabilidade de Encostas. Fonte: Nery (2011) adaptado de Pack et al. (1998).

Condição	Classes	Estado Prévio	Margem de Parâmetro	Influências possíveis de fatores não moderados
$IE > 1.5$	1	Estável	Margem de instabilidade não modelada	Significantes fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade
$1.5 > IE > 1.25$	2	Moderadamente Estável	Margem de instabilidade não modelada	Moderados fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade
$1.25 > IE > 1.0$	3	Quase Estável	Margem de instabilidade não modelada	Menores fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade
$1.0 > IE > 0.5$	4	Limiar Inferior	Margem de média pessimista exigida para instabilidade	Fatores desestabilizadores não são exigidos para a instabilidade
$0.5 > IE > 0.0$	5	Limiar Superior	Margem de média otimista exigida para estabilidade	Fatores estabilizadores podem ser responsáveis pela estabilidade
$0.0 > IE$	6	Instável	Margem de estabilidade não modelada	Fatores estabilizadores são exigidos para a estabilidade

O fator de segurança, segundo Pack *et al.* (1997), é estabelecido por meio da função matemática,

$$SI = IE = FS = \frac{\left(\frac{Cr+Cs}{\rho S \times g \times z \times \cos \theta}\right) + \cos \theta \left[1 - \min\left(\frac{R \cdot a}{T \sin \theta}, 1\right)\left(\frac{\rho W}{\rho S}\right)\right] \tan \varphi}{\sin \theta} \quad (\text{Eq. 1})$$

Tal função adota como elementos para cálculo os parâmetros constantes e os de incerteza, apresentados na Tabela 6. Os parâmetros de incerteza são estabelecidos conforme análises laboratoriais dos solos, precedidos de coleta destes, na área de estudo.

Tendo como objetivo geral desta pesquisa criar um zoneamento de áreas propensas ao Risco de Escorregamentos Translacionais Rasos na área urbanizada e seu entorno da sede do município de São João Nepomuceno, o modelo SINMAP torna-se uma ferramenta proficiente para o propósito descrito, uma vez que assim como colocado por Nery (2011, p. 30) “a aplicação desse modelo pode ser somente direcionada em áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais rasos, onde tais fenômenos são controlados por fluxos convergentes subsuperficiais rasos”.

Portanto, vale apresentar que, assim como colocado por Fernandes (2016), a utilização da modelagem para a análise ambiental, não deve ser vista como um sinônimo de previsão do futuro, e nem muito menos, como a reveladora de todas as áreas identificadas como passíveis de ocorrência de um dado fenômeno estudado. A prática da modelagem, então, deve ser entendida como um método de expressão científica, o qual se vincula dentro de limites de incerteza, gerado pela complexa relação existente entre fatores condicionantes do fenômeno estudado.

4 CONHECENDO O MUNICÍPIO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 São João Nepomuceno: seu surgimento e primeiros topônimos

O município hoje denominado São João Nepomuceno, não apresenta o topônimo de seu descobrimento, no fim do século XVIII. Assim como apontado por Medina (2010) e IBGE (1959a) o município no qual se desenvolverá a pesquisa tem seu surgimento e ocupação à mesma época que seu município vizinho Rio Novo.

Ambas as localidades, segundo Medina (2010) tiveram suas primeiras ocupações muito ligadas ao avanço da agricultura, associado ao declínio da mineração na Capitania das Minas Gerais, onde a partir da crise na atividade mineradora possibilitou que o Brasil avançasse em outros meios econômicos, principalmente relacionados a atividades agrícolas como colocado por Coutinho (2008).

Diante da realidade na época, houve então ao final do século XVIII, a necessidade de expansão das atividades agrícolas para áreas ainda inexploradas. O avanço migratório, na então Capitania Mineira se deu para as regiões mais a Leste e Sul, conhecidas como: “sertões de Leste”¹⁶ ou “sertões proibidos”¹⁷, como colocado por Medina (2010).

O deslocamento dos pioneiros¹⁸ para a ocupação da região onde hoje se encontram as cidades de São João Nepomuceno e Rio Novo se deu por meio de vias fluviais, e fora através dos rios que ali se encontram que surgiram as primeiras instalações, que mais tarde formariam os municípios referidos. Como descrito na Enciclopédia dos Municípios, desenvolvida pelo IBGE (1959a, p. 51):

[...] bandeirantes vindos das regiões auríferas em busca de boas terras para a vida rural penetraram na zona florestal, hoje denominada Zona da Mata, e, perlustrando a imensa floresta, depararam com um ribeiro muito sinuoso, ao qual denominaram de Caranguejo, nome que ainda hoje conserva. Descendo o mesmo, margeando-o, em certa etapa da marcha desviaram-se para a direita e encontraram um caudal menos arrevesado. Alguém do grupo observou que o curso do Caranguejo era agora menos sinuoso, ao que outro replicou: "Não é o mesmo. Aquele é apenas um riacho e este é realmente um rio maior e mais caudaloso. Este é "novo". Daí o designativo "Rio Novo" ficou.

Como conta Medina (2010), em certa altura das margens do então “Rio Novo”, os desbravadores aportaram e ali erigiram uma capela, em torno desta começou a se desenvolver um povoado, conhecido na época como Conceição do Rio Novo. Alguns dos desbravadores

¹⁶ “Sertões de Leste” assim como “sertões proibidos” fazem alusão a região que é conhecida hoje como “Zona da Mata Mineira”, segundo Mercadante (1973).

¹⁷ “Sertões proibidos” recebeu esse nome por ser uma “zona que ficara, durante muito tempo, vedada a qualquer penetração, pelo receio do governo português de que pudesse servir de caminho ao contrabando do ouro” (MEDINA, 2010, p.41)

¹⁸ Tais pioneiros são descritos pelo IBGE (1959a) como “bandeirantes”, provenientes das regiões auríferas de Minas Gerais.

seguiram mais a frente e então criaram outro arraial, que mais tarde estaria associado à atual São João de Nepomuceno. Assim como no primeiro, ali também construíram uma capela. As capelas assim como relatado pelo IBGE (1959a), no verbete referente à Rio Novo, serviam de referência para diferenciar ambos os lugares, o topônimo “Capela de Baixo” se referia ao povoado de São João Nepomuceno e a “Capela de Cima” em contraposição com a primeira, se referindo ao povoado de Rio Novo.

O povoado que mais tarde viria a constituir a cidade-sede do município de Rio Novo originou-se naturalmente. Com a entrada desses desbravadores do passado, formou-se uma pequena aglomeração que, aos poucos, se foi desenvolvendo. Por muito tempo, duas eram as povoações que, desenvolvendo, vieram a se tornar independentes, constituindo municípios autônomos: eram os povoados de Rio Novo e de São João Nepomuceno, conhecidos pelo nome de Capelas. Aquele, Capela de Cima e este, Capela de Baixo, posto suas colocações, acima e abaixo do rio. (IBGE, 1959a, p.51)

É sabido que foi a partir da construção da capela hoje denominada “Igreja da Matriz”, localizada no atual Largo da Matriz, uma das partes mais elevadas da cidade, que começaram a serem construídas as primeiras casas, e a partir dali o surgimento de um novo povoamento que futuramente seria conhecido como a atual São João Nepomuceno (MEDINA, 2010; PONTES, 2017).

Porém, diferentemente do que foi apresentado na Enciclopédia dos Municípios do IBGE (vocábulo Rio Novo), sobre o surgimento de São João Nepomuceno, ter iniciado com a construção da então denominada “Capela de Baixo”, Medina (2010, p.40) questiona e posteriormente nega tal versão. Para o autor o início da ocupação das terras da cidade corrobora com o que foi apresentado no parágrafo anterior.

Medina (2010) não desconstrói o fato de ter realmente havido uma “Capela de Baixo”, ao contrário, diante de seu relato, o autor acredita no fato de que houve sim uma capela anterior a atual Igreja Matriz, porém segundo suas palavras essa capela seria “provavelmente rústica e pequenina”, e essa então, provavelmente não se referiria a atual Igreja Matriz.

Na mesma linha de pensamento do autor acima citado, Pontes (2017) também acredita na existência de duas capelas, sendo a atual Igreja Matriz a segunda delas. Indo mais além do que Medina relatou, Pontes, por sua vez, apresenta fragmentos do documento de doação de terras feita pelo Guarda-Mor Furtado e sua esposa, que comprovam a construção de uma “nova capela”, dando assim a entender que já existia antes, outra. Segundo tal documento, datado de 27 de novembro de 1815, confirma que o casal estava doando “uma sorte de terras para o Patrimônio [...] da nova Capela de São João Nepomuceno [...]”.

Pontes (2017, s/p) em seus escritos acredita que existe a possibilidade de “a oeste ou noroeste de São João, para as bandas da atual cidade de Rio Novo, tenha havido uma capela

de São João Nepomuceno desde a primeira década dos anos de 1800 (ou mesmo um pouco antes), e que tenha sido propriedade particular dos Henriques.”

O autor acredita nessa hipótese, pois além da referida “família Henriques” ser considerada uma das pioneiras da região, ainda possuíam uma enorme fazenda. Como era comum na época, a existência de capela nas propriedades, a referida “Capela do Rio Novo de Baixo” pode sim estar associada à capela localizada na propriedade particular da família Henriques.

Medina (2010) somado a junção e compilação de informações apresentadas pela Prefeitura Municipal de São João Nepomuceno (PMSJN), relatam que a efetiva colonização e posterior fundação do então povoado se deram mesmo no início do século XIX. Tal desdobramento foi possível com a chegada de alguns fazendeiros oriundos dos municípios de Carandaí e Queluz, atual Conselheiro Lafayette. Os nomes que se destacaram foram José Furtado de Mendonça, Antônio Dutra Nicácio, Domingos Henriques de Gusmão (um dos chefes da família Henriques) e Domingos Ferreira Marques (MEDINA, 2010; IBGE, 1959b).

Segundo os documentos da PMSJN, e que podem ser confirmados pelos registros feitos pela Enciclopédia dos Municípios (IBGE, 1959b), verbete São João Nepomuceno, o primeiro nome citado, José Furtado de Mendonça, conhecido na época como o “Guarda-Mor Furtado” (na época Guarda-Mor da Capitania, posto este que equivalia ao de fiscal de minas, segundo MEDINA, 2010, p.45), foi um fazendeiro da época que por meio de escritura datada em 27 de Novembro de 1815, e não 1811 como colocado por Medina (2010, p. 45), doou à “(...) Cúria Diocesana de Mariana, uma área de terra, adjacente à extinta Fazenda Roça Grande, onde, com a ajuda dos demais fazendeiros que com ele ali se instalaram, erigiram uma capela (...)”.

Registros comprovam que tais doações de terras foram para a construção da hoje denominada Igreja da Matriz. Como já apresentado foi a partir da construção desta que começaram os primeiros sinais de povoamento da futura São João Nepomuceno, com construções em torno da referida igreja (Figura 5). Como colocado por Medina (2010, p.40) demorou algum tempo para que a povoação concentrada na denominada por ele “Cidade Alta” se deslocasse para as partes mais baixas, dando a conformação que a cidade tem hoje.



Figura 19: Igreja Matriz de São João Nepomuceno, já com algumas residências construídas no início do século XX. Fonte: Blog “São João Nepomuceno: dois séculos de história”, de Luiz A. F. Pontes, 2017. Retiradas dos arquivos da Fundação Cultural de São João Nepomuceno e do acervo pessoal de Eduardo Ayupe Tamiozo.

Como consta nos registros da PMSJN, os fazendeiros provenientes da atual Conselheiro Lafayette, eram devotos de um santo mártir tcheco chamado de *Ján de Nepomucký* (em português, São João Nepomuceno). Pontes (2017) afirma que a referida imagem do santo, era de propriedade do Padre Jacó Henriques (tio de Domingos Henrique de Gusmão), e que após a construção da Igreja Matriz, essa foi doada para tal, se encontra até hoje presente no altar principal da igreja (Figura 6). Diante disso, o santo tcheco São João Nepomuceno se tornava orago da capela que ali se construía.



Figura 20: Imagem de *Ján de Nepomucký*, santo mártir tcheco que dá nome a cidade, aposto no altar da Igreja Matriz. (Foto: Márcio Sabones/Divulgação)¹⁹

¹⁹ Retirada do site: <http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2016/05/unidas-por-santo-municipios-mineiro-e-tcheco-se-tornam-cidades-irmas.html>

Medina (2010, p.48) em uma colocação sobre o topônimo da atual São João Nepomuceno, destaca que pelo fato de naquela época as relações entre Igreja e Estado serem muito próximas, a primeira classificação que o lugar recebeu foi a de Curato²⁰. Diante disso, o nome da referida região, a partir do ano de 1829 era “Curato de São João Nepomuceno do Rio Novo”, local esse que foi incorporado a recente criada freguesia²¹ de “São Manoel do Pomba”. Esta última, três anos mais tarde, em 1832, se tornaria “vila” e passaria a se chamar “Vila de São Manoel do Pomba” (atual, Rio Pomba), sendo essa definida como sede do município o qual referido Curato de São João Nepomuceno pertencia. Começava a partir daí, a referir-se a localidade onde hoje se encontra instalada São João Nepomuceno, a ter tal topônimo.

4.2 Os “(des)caminhos” de São João Nepomuceno até sua consolidação política e administrava enquanto município.

Como consta nos documentos analisados, o descrito “Curato” foi à primeira classificação dada a atual cidade de São João Nepomuceno, que teve sua situação administrativa bem conturbada até se tornar sede do município de mesmo nome em 7 de Janeiro de 1883 (IBGE, 1959a; MEDINA, 2010). Desde a primeira classificação, até a nomeação enquanto sede municipal foram mais de meio século.

Durante os mais de 50 anos até a promoção de São João Nepomuceno houveram diversas mudanças em seus *status*. O primeiro deles como descreve Medina (2010, p. 48) foi já em 1841, o então Curato de São João Nepomuceno do Rio Novo, ganharia autonomia e já se tornara vila. Porém, segundo ainda o referido autor, em suas palavras, “O processo de emancipação foi, contudo, acidentado e a conquista do novo *status* seria efêmera (...)”.

Até sua finitude, em 9 de Outubro de 1851, por força da Lei nº 542, a então Vila de São João Nepomuceno, tinha sua respectiva paróquia desmembrada por sua vez do Município de Rio Pomba, sendo na época integrante da Comarca do Paraibuna, cuja sede era em Barbacena (IBGE, 1959a). O município foi instalado em 16 de Agosto de 1842, com posse de sua primeira Câmara de Vereadores constituída por 7 representantes. A área municipal compreendia então: sua freguesia, e os distritos de Conceição do Rio Novo (atual Rio Novo), Santíssima Trindade do Descoberto (Descoberto), Rio Pardo (Argirita), Espirito Santo (Guarará), Cágado (Mar de Espanha), São José do Paraíba (Além Paraíba), Nossa Senhora

²⁰ Curato se referia na época, a uma zona geográfica eclesiástica da Igreja Católica, que cuidava de atividades religiosas e sociais sob a dependência de uma paróquia.

²¹ Freguesia era o nome dado às menores divisões administrativas, por Portugal e pelo antigo Império Português, se referindo às paróquias civis dos países colonizados.

Madre de Deus (Angustura), Porto de Santo Antonio (Astolfo Dutra) e São Sebastião do Feijão Cru (Leopoldina), dados estes retirados dos escritos de Medina (2010, p.48/49).

Como já citado em 1851, a referida freguesia foi vetada e a sede municipal foi substituída por Mar de Espanha (até então denominado Arraial do Cágado). Como explicado por Medina, e também descrito pelo IBGE (1959a, p.239) na época, tal mudança de sede foi considerada “um ato surpreendente”, explicada por motivos político-partidário, diante da influência de um chefe político da região, conhecido como Custódio Ferreira Leite, que pertencia ao Partido Conservador, que estava então na governança da paróquia.

Dezessete anos mais tarde, em 1868, através de Lei, São João Nepomuceno reestabeleceria seu município, dessa vez ao lado de Rio Novo. Como estabelecido na Lei 1.600, de 28 de Julho, o município seria formado pelas freguesias de São João Nepomuceno e Rio Novo, contendo como distritos, Santíssima Trindade do Descoberto e Piau, ambos desmembrados de Mar de Espanha e Juiz de Fora, respectivamente. (IBGE, 1959a; MEDINA, 2010).

Novamente por motivos políticos, em 1870, o resgate político-administrativo e a autonomia municipal de São João Nepomuceno eram perdidos, desta vez para Rio Novo, que teve sua categoria elevada à vila e São João a de distrito. Tal realidade se manteve presente durante 10 anos, até que em 1880, em decorrência da Lei 2.677, de 30 de Novembro, o antigo *status* de Vila de São João Nepomuceno foi restabelecido.

A partir de então, não houve mais inquietações no sentido de rebaixamento de suas categorias. Pelo contrário, um ano após sua reconstituição enquanto Vila, São João Nepomuceno seria elevado à categoria de cidade, e dois anos mais tarde seria empossado como município em 7 de Janeiro de 1883, com a criação de sua Câmara de Vereadores, constituindo-se de 9 representantes, dois a mais do que a primeira câmara firmada em 1842 (IBGE, 1959a MEDINA, 2010).

Os atos político-partidários que em duas ocasiões, foram prejudiciais à São João Nepomuceno, como já descrito, sua emancipação como município em 1883, se deu também por meio destes. Como conta Medina (2010, p.51):

É digno de nota que a emancipação definitiva do município se deu quando o Partido Liberal, liderado em São João por Antônio José Dutra, estava, novamente, no poder, num largo período de domínio, iniciado com o Gabinete do Visconde de Sinimbu, em 1878 e que iria até a volta dos conservadores, em 1888, com o efêmero Gabinete João Alfredo.

O IBGE (1959a, p.240) no item denominado “FORMAÇÃO ADMINISTRATIVA”, expõe que por meio de uma Lei Estadual de nº 2, de 14 de Setembro de 1891, e o que foi

apresentado na Divisão Administrativa (1911), e nos quadros de apuração do Recenseamento Geral (1920), o município de São João Nepomuceno contava com 6 (seis) distritos, sendo eles: a sede de mesmo nome, Descoberto, Rochedo (atual Rochedo de Minas), Taruaçu, Santa Bárbara (Carlos Alves) e São José da Cachoeira (Ituí).

Tal conformação municipal permanece até o ano de 1953, que por uma Lei Estadual, desmembra-se do município de São João o distrito de Descoberto, que passara à categoria de município. Porém, além da perda, é anexado ao município o distrito de Roça Grande, mantendo-se ainda o município com 6 (seis) distritos.

A divisão apresentada se manteve até o ano de 1962, que por outra Lei Estadual, esta de nº 2764, de 30 de Dezembro, há o desmembramento do então distrito de Rochedo de Minas, que se tornaria na presente dada um novo município. Assim conforme é observado até hoje, a divisão territorial do município é constituída de 5 (cinco) distritos, sendo: São João Nepomuceno, Carlos Alves, Ituí, Roça Grande e Taruaçu.

4.3 A urbanização: relação entre a indústria têxtil e a ocupação territorial.

São João Nepomuceno assim como a maior parte dos municípios mineiros e brasileiros teve sua formação enquanto município e posteriormente enquanto cidade, fundada sobre uma economia agrícola. Desde a doação das terras pelo Guarda-mor José Furtado de Mendonça no início do século XIX, até meados do mesmo século, as residências construídas no entorno da capela ali erigida, foram criadas por fazendeiros e políticos da região para terem onde se hospedarem durante festas religiosas (COSTA, 2016b).

Diante de tal descrição se constata que os primeiros sinais de povoamento do antigo povoado, e hoje da cidade, veio por meio da agricultura, impulsionada principalmente pela produção açucareira e cafeeira na região.

Costa (2016b) destaca que com o passar dos anos, desde as primeiras ocupações até a construção da rede de estradas de ferro (Estrada de Ferro Leopoldina) ligando o Rio de Janeiro a São Paulo e Minas Gerais na década de 1860, o então Curato de São João Nepomuceno do Rio Novo, foi o povoado que mais se desenvolveu “quando comparado com os demais em seu entorno, na região que compreende a margem direita do Rio Pomba e esquerda do Rio Paraíba” (COSTA, 2016b, p.24).

Com investimentos provenientes da produção de café na região e de alguns pequenos empreendimentos ao entorno da rede ferroviária, começava a partir de então, investimentos para o avanço da indústria em terras são-joanenses, com destaque para a indústria têxtil que

seria mais tarde, considerada a principal fonte econômica do município e uma das principais impulsionadoras da urbanização de São João Nepomuceno.

Rangel (1972) em seu livro, o qual descreve relatos e fatos da constituição de São João Nepomuceno enquanto cidade, apresenta de maneira clara como era baseada sua economia no início da urbanização no final do século XIX. Como relatado pela autora, observa-se que três principais atividades dominavam a minuta cidade aqui descrita, a se destacar: as indústrias, o comércio e a agricultura, como se vê nas citações: “As indústria (laticínios, calçados, ferraduras, móveis, confecções, etc.)...”, “O comércio abre as portas...” e “O agricultor chega com os produtos do seu trabalho...” (RANGEL, 1972, p.47).

Durante o período descrito acima, São João encontrava-se em uma fase que poderia ser classificada como introdutória à chegada da indústria na cidade. Como se verifica nas citações, por exemplo, as variadas atividades que já existiam no espaço urbano são-joanense, eram frutos de uma retroalimentação de um sistema criado sobre o início da urbanização de uma cidade em seu estágio inicial de surgimento.

Apesar das diversas atividades existentes na consolidação urbana de São João Nepomuceno, a que mais se destacou e vem se destacando até os dias atuais é a indústria têxtil. A famosa Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento (CFTS), inaugurada em 14 de Julho de 1895 por Daniel Sarmiento, tem segundo Costa (2016b), sua trajetória confundida com a cidade, estando segundo ele o sucesso da fábrica e os rumos de São João intimamente ligados.

Corroborando com o que foi apresentado pelo autor supracitado, Rangel (1972) em algumas passagens de seu livro deixa exposto como era à realidade urbana são-joanense nos tempos áureos da CFTS. Na primeira passagem a autora apresenta como era a vida dos operários que trabalhavam na fábrica:

Às quatro e trinta da manhã, de todos os cantos da cidade, ouve-se a sirena da Cia. Fiação e Tecidos Sarmiento, os operários despertando. Começa a vida. Dinâmica. A busca do lugar ao sol. Várias famílias se movimentam. Algumas casas vazias ficam. O trabalho faz a primeira chamada e é atendido. O redemoinho se inicia... Agita-se o formigueiro humano. (RANGEL, 1972, p. 47)

Em outro momento do livro a autora apresenta o quantitativo de pessoas que trabalhavam na mesma, “A colmeia não párapara. A Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento, uma potência. Fundada em 1895, mantém cerca de mil e duzentas famílias.” (RANGEL, 1972, p.47/48).

Costa (2016b) em sua dissertação construída não somente, mas por narrativas orais dos operários que trabalharam na referida companhia, é possível observar em alguns relatos, a importância que a Fiação e Tecidos Sarmiento tinha no desenvolvimento econômico e social

da cidade de São João Nepomuceno. Inclusive, em uma das narrativas realizadas o número de pessoas empregadas pela fábrica, cerca de “1300 empregados”, também foi citado dando a entender que boa parte da população residente nos arredores da fábrica dependia quase que totalmente de seu funcionamento.

Tal descrição de dependência e impulsionamento da Cia. Fiação e Tecidos Sarmiento para o início da urbanização de São João, pode ser corroborada com a Figura 7, a qual demonstra o tamanho da estrutura criada pela referida Companhia.



Figura 21: Complexo fabril da Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento, final do século XIX e início do século XX. Fonte: Costa (2016b)

Tal imagem foi apresentada por Costa (2016b, p20), sendo retirada do acervo fotográfico do Museu Histórico Municipal de São João Nepomuceno (MG), tendo sua autoria e data desconhecida. Acredita-se, contudo, que a mesma foi obtida no final do século XIX e início do século XX, devido a pouca urbanização que se tinha próximo à fábrica.

Tal infraestrutura para a época se destacava, como fica explícito dos dizeres de Costa (2016b, p.20/21), ao passo que apresenta tal imagem em seu trabalho, “Chama a atenção a considerável área ocupada pelo prédio quando é pensado o tamanho diminuto de São João Nepomuceno. A cidade pequena apresenta um ar de grandeza que se escora na importância do empreendimento da família Sarmiento.”

Realmente o tamanho e a proporção de tal empreendimento para a época aqui retratada, em uma pequena cidade do interior, são de se saltar aos olhos. Não se tem registro da população residente naquela época na área urbana são-joanense, porém é possível afirmar

que praticamente a totalidade de pessoas existentes naquele local estava correlacionada com a Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento.

Observando ainda a Figura 7, vale destacar que a maioria das construções existentes na época em que tal foto foi tirada estão localizadas nas partes mais rebaixadas do relevo, não observando ainda ocupações nas encostas e nos topos de morros como é visto hoje em dia. A exceção de tal afirmação e que não se encontra evidente na referida imagem, está o “Largo da Matriz” (Figura 5), local onde se deu o início do povoamento de São João Nepomuceno, e se encontra em um topo de morro.

A proximidade da fábrica de tecidos e a Estrada de Ferro Leopoldina constituía a união perfeita para o desenvolvimento e crescimento da cidade de São João Nepomuceno, tanto pelo escoamento de matéria-prima e produtos, quanto pelo deslocamento de pessoas. O progresso da CFTS, segundo Medina (2010) se deu até meados dos anos 1960, quando a mesma entra em declínio. O referido autor inclusive, em uma pequena passagem de seu texto, deixa claro o quão importante tal companhia era para a área, afirmando que a mesma era “a maior força econômica do Município”.

Tal realidade é constatada pelas matérias e reportagens do jornal local, “Voz de São João”, apresentados por Costa (2016b), as quais demonstram como se deram os rumos e como foram os reflexos e importâncias de tal empreendimento para a constituição da área urbana são-joanense. Observa-se perante alguns recortes feitos pelo autor das matérias do referido jornal local, que a Fábrica de Tecidos Sarmiento era considerada uma entidade estratégica para a cidade de São João Nepomuceno, devido principalmente ao seu progresso e pujança econômica para a região. Em algumas passagens inclusive, como a destacada a seguir, é possível notar uma nítida preocupação caso a fábrica viesse a fechar, devido à dependência financeira e social que se criava acerca da CFTS.

Temos para nós, que só a Fábrica Sarmiento representa 50% da vida econômica dessa região. Ai! de nós se essa empresa fosse transportada para outra zona do país! Pobre São João Nepomuceno, como sofreria terrível colapso em sua economia! Felizmente, não se pensa em tal cousa. (Jornal *Voz de São João*, 17 de Abril de 1955. Retirado de Costa (2016, p. 30)

Até meados dos anos de 1960, os possíveis problemas econômicos são-joanenses estavam mesmo em hipóteses e/ou suposições, uma vez que como apresentado por Medina (2010), a economia são-joanense “experimentava um bom momento”. Afim de confirmar o positivo momento econômico vivido por São João, no final do século XIX e início do XX, autor citado complementa que:

Uma indústria promissora começava a desenvolver-se, o comércio se firmava, os seus dois maiores estabelecimentos se expandiam e novas casas eram abertas, a

agricultura se enriquecia graças ao plantio do café e a pecuária leiteira igualmente aumentava sua produção. As perspectivas de progresso do município eram, pois, bastantes otimistas. (MEDINA, 2010, p. 58)

Tal realidade narrada fazia com que São João Nepomuceno se tornasse um local de atração de pessoas para trabalhar tanto na indústria têxtil que ali começava a se consolidar, quanto em outros seguimentos profissionais que eram criados ao entorno da fábrica, e para a fábrica. A partir de então, iniciava-se um processo de deslocamento social para a área urbana, provenientes da zona rural do município, como também de outras cidades e regiões.

O deslocamento populacional para a sede municipal são-joanense, no início do século XX até os anos de 1970, pode ser explicado pelos serviços que a Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento fornecia para a cidade. Porém, após o final dos anos 60 e início do 70, o Brasil passava por um momento de grandes incertezas e insegurança, fruto de uma crise que assolava o país, com uma grande recessão, contenção de créditos e declínio nas exportações e vendas. Tal crise afetou de maneira direta a fábrica de tecidos Sarmiento, levando a uma diminuição de seus serviços e produtos, da metade para o fim dos anos 60, e decretação de falência em 1971 (COSTA, 2016b).

A falência da Cia. Fiação e Tecidos Sarmiento, também foi acompanhada pelo colapso de outras indústrias têxteis em cidades vizinhas como Cataguases, Juiz de Fora, Leopoldina, Três Rios, dentre outras. Desde o período que foi iniciado os rumores e fatos que levariam mais tarde ao decretamento de falência da fábrica são-joanense de fato, a cidade passou por um período de intranquilidades e incertezas, de como seria a sequência de sua economia sem a principal representante (COSTA, 2016b).

Além da crise no cenário nacional, não associa tal conjuntura como a única responsável pela falência da CFTS, segundo suas abordagens e pesquisas, a fábrica passava por “muitos problemas internos, de gestão e de crédito”. Costa (2016b) em seus escritos utilizando-se uma reportagem retirada do jornal *Voz de São João*, 02 de Fevereiro de 1964, o qual destaca que:

O ano de 1964 iniciou-se com boatos de que a Companhia teria sua falência decretada em 31 de janeiro, uma vez que percebia-se a falta de matéria-prima básica para a produção da fábrica, como algodão, lubrificantes para as máquinas, polvilho, anilina, peças sobressalentes, bem como o atraso no pagamento dos salários dos trabalhadores. (COSTA, 2016b, p.67)

Apesar de um momento difícil para a economia e toda população são-joanense, que se via dependente da Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento, Costa (2016b) coloca que paralelamente à crise que se instalava na cidade, surgia também “novos empreendimentos no ramo de confecções em São João Nepomuceno”. Tal atividade que nascera de maneira

acanhada e restrita, aos poucos foi absorvendo como mão de obra os funcionários da então falida CFTS, para se tornar no que é hoje, em uma das principais atividades econômicas presente no município.

O ramo das confecções, que segundo registros apresentados por Costa (2016b, p.102), teve o ano de 1973 como marco inicial de suas atividades em São João Nepomuceno, auxiliou não somente a população que ficara desempregada com a falência da fábrica de tecidos Sarmento, mas também a população que continuava migrando para a cidade, confiantes em um restabelecimento da economia local, e surgimento de novas perspectivas. E foi o que realmente aconteceu, como apresenta Costa (2016b, p.114).

A falência ou o insucesso de algumas fábricas não ensejariam mais a comoção vista na década de 1960, que vivenciou o “drama da Sarmento”. Havia novas alternativas de trabalho e a economia não mais se sustentava em apenas um empreendimento. O surgimento das confecções gerou progresso e contribuiu para a origem do legado que hoje São João Nepomuceno orgulhosamente ostenta: o de ser conhecida na região como a cidade das indústrias do vestuário.

Nos dias de hoje, como apresenta a reportagem²² realizada pelo G1 Zona da Mata, em Fevereiro de 2015, as confecções presentes em São João Nepomuceno nos dias atuais são responsáveis por quase a metade dos empregos no município. Entrevistado na oportunidade, José Roberto Schincariol, presidente do Sindicato das Indústrias do Vestuário, destacou que a cidade contava na época com 79 empresas registradas, as quais produziam mais de meio milhão de peças por mês, comprovando o quanto tal indústria se faz importante para a realidade são-joanense.

O sucesso do novo ramo econômico de São João trouxe diversas alterações e modificações no ambiente urbano da pequena cidade. O crescimento populacional era notório, ocupação de novas áreas, aumento de residências, surgimento de novos bairros, etc., tudo isso já começava a se evidenciar no início dos anos 70, como é possível de se comprovar nos escritos de Rangel (1972, p.105), em um capítulo de seu livro, o qual a autora intitula “DESENVOLVIMENTO (A CIDADE CRESCE)”.

OS MORROS estão sendo invadidos. Pelas casas. A cidade cresce. Dá gosto ver. Paredes branquinhas. Enfeitando a paisagem. Dando-lhe vida. Dir-se-ia mesmo que novos bairros surgem. O saneamento não se faz esperar. As moradias se equipam. De maneira simples. Funcional. Quem, como nós, conheceu o Morro de São José com a caixa d'água (que abastece a cidade) e a capelinha... constata o progresso. Em curto espaço de tempo.

A cidade cresce... encontra onde expandir-se. Cada canto de terra é disputado para em casa se transformar. Impossível tolher o aumento da população. É um círculo vicioso: uns saem, outros chegam. Muitos nascem. Não é, graças a Deus, o crescimento vertical, como nos grandes centros. É mesmo horizontal. Há terrenos. Para construção receberem. Mora-se mesmo.

²² Fonte onde foi retirada tal notícia: <http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/02/confeccoes-de-sao-joao-nepomuceno-mg-enfrentam-crise.html>

Com o intuito de se observar o crescimento populacional são-joanense, após pesquisas realizadas no IBGE e em outras fontes, não foi possível encontrar registros pretéritos a 1940 que nos ajude a identificar de maneira separada a população urbana e a população rural residente no município. Portanto, posterior à referida data foi possível encontrar registros, com número de habitantes, para auxiliar no entendimento do crescimento populacional no município ao longo dos anos pelos quais foram realizados os censos. Os mesmos encontram-se identificados e expostos na Tabela 1.

Tabela 4: Evolução da População rural e urbana de São João Nepomuceno entre 1940 e 2010.

Década	População Urbana*	População Rural	População Total
1940	7.742	14.943	22 685
1950	8.791	13.916	22.707
1960	11.265	7.829	19 094
1970	13.060	5.096	18.156
1980	14.208	3.406	17.614
1991	18.955	2.477	21.432
2000	22.332	1.454	23.786
2007**	23.593	1.418	25.011
2010	23.835	1.222	25.057
2017***	-----	-----	26.538

Fonte: Censos e Contagens Populacionais realizados pelo IBGE de 1940-2010.²³

*Entende-se por População Urbana a soma da população residente na sede do município com as populações residentes nos distritos.

** No ano de 2007 foi um ano que houve uma “Contagem da População”, e não necessariamente um Censo.

*** População estimada para o ano de 2017, segundo o IBGE. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_TCU_2017_20180618.pdf Acessado em: 08/08/2018.

A partir da exposição e análise da Tabela 1, é possível visualizar de maneira quantitativa, como se deu o crescimento populacional urbano são-joanense, de 1940 até 2010 (dados que correspondem ao último censo realizado). Fica então evidenciado que a população residente na área urbana do município em 1940, sai de 7.742 habitantes (cerca de 35% do todo da época) para um total de 23.835 pessoas, que corresponde relativamente a mais de 95% da população residente no município, encontram-se situados na zona urbanizada.

Observa-se que o crescimento populacional urbano de São João Nepomuceno, durante o período que se apresenta, se deu de maneira contínua, com destaque para 3 (três) períodos dentre os analisados, com destaque para 1950-60, 1980-91 e 1991-2000, onde se observa um crescimento populacional que destoa dos demais.

²³ Dados retirados do endereço: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm => item “seculo XX”, subitem “população1.zip” e “população2.zip”.

O aumento populacional observado no primeiro momento, de 1950 para 1960, é explicado pela forte influência que a Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento exercia na região. Costa (2016b) coloca inclusive que, somado aos reflexos da Segunda Guerra Mundial, que arrasava a Europa, a CFTS viveu durante 1945 até 1965 seu ápice na venda e exportação de tecidos. O autor complementa ainda que até a efetiva reconstrução do parque industrial na Europa, houve em praticamente toda a indústria têxtil brasileira, um grande sucesso econômico.

Acredita-se que o fato constatado, no parágrafo anterior, foi um dos principais responsáveis pela atração e interesse das pessoas a se deslocarem para a área urbana são-joanense onde o referido empreendimento encontrava-se instalado, explicando assim o primeiro crescimento relevante que se observa, cerca de 2500 pessoas.

O segundo e o terceiro período que se destacam na Tabela 1, como sendo uns dos que tiveram um aumento na população urbana em São João Nepomuceno, 1980-91 e 1991-2000, podem ser explicados pelo seguimento econômico que a cidade apresenta desde 1973 até os dias atuais, a indústria do vestuário (confeccões). Tal desenvolvimento no ramo das confeccões, iniciado com o declínio da Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento, que proporcionou o progresso e prosperidade para a cidade que se via totalmente dependente da referida fábrica.

O surgimento de tal atividade à época além de evitar um êxodo populacional urbano de São João, conseguiu absorver grande parte dos operários que trabalham na CFTS e também atrair pessoas de regiões próximas para trabalharem nesse novo ramo que surgia na cidade. Com a afirmação da indústria do vestuário, presente até os dias atuais como a principal fonte econômica da cidade, a propensão de pessoas para a área, pode ser explicada pela influência que o referido ramo exerce no município.

O processo de urbanização e expansão da cidade de São João Nepomuceno, no decorrer do século XX, com foco inicial para a indústria têxtil, e após seu declínio, investimento no setor de vestuário (confeccões), como anteriormente abordado, se tornou uma das principais fontes econômicas da cidade até os dias de hoje, levou e leva a várias modificações na configuração geográfica da área urbana.

Com a ocupação inicial dos pontos mais baixos e mais aplainados do relevo, como retratado na Figura 7 (da Companhia Fiação e Tecidos Sarmiento), houve com o passar dos anos uma ocupação quase que total das áreas planas existentes nos fundos de vales, fazendo com que boa parte da população imigrante para a cidade, começasse a se expandir para locais menos propícios à ocupação, com destaque para áreas de vertentes e topos de morros.

Tal realidade construída e evidenciada nos dias de hoje, na cidade de São João Nepomuceno, se comporta como sendo o principal problema a ser investigado por essa pesquisa. Em decorrência dos principais prejuízos e danos que tais ocupações podem provocar à sociedade são-joanense, o trabalho se fundamenta e busca de maneira satisfatória contribuir para o mapeamento de áreas que tem a probabilidade de risco a escorregamento no espaço urbano da referida cidade.

4.4 Município de São João Nepomuceno: Localização e Características Físicas.

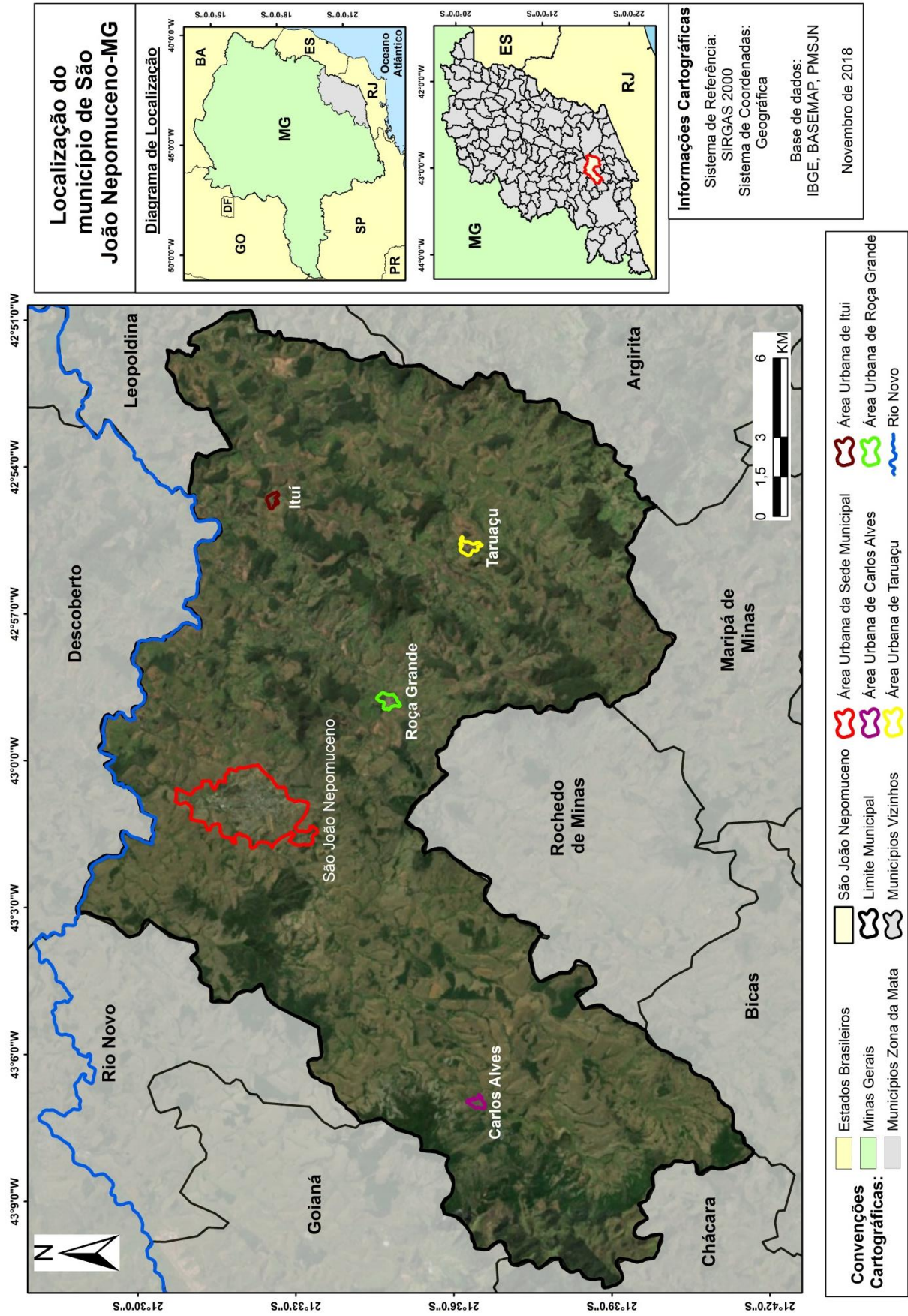
Nos tópicos a seguir, referentes à localização e principais características físicas, as mesmas, encontram-se expostas e discutidas inicialmente na escala do município. Tal escolha se justifica principalmente por dois motivos: o primeiro deles vem do interesse em contribuir com novas informações e produtos adicionais para o município de maneira mais ampla, e não somente para a área referente às Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares. O segundo motivo é devido à falta de uma base de dados de maior detalhe da área de estudo propriamente dita, que impendem à apresentação de informações mais pormenorizadas de tal localidade.

Como a pesquisa tem seu objetivo principal pautado na criação de um Zoneamento de áreas de Risco à Escorregamentos para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, área esta que contempla parte da área urbana de São João Nepomuceno, as informações e dados pertinentes a ela, serão apresentados e discutidos no tópico 3.5, destinado a apresentação pormenorizada da área a ser estudada.

4.4.1 Localização e População

São João Nepomuceno, é um dos 142 municípios existentes na mesorregião da Zona da Mata Mineira. Situado na microrregião de Juiz de Fora (IBGE), o município tem como limítrofes Argirita, Bicas, Chácara, Descoberto, Goianá, Leopoldina, Maripá de Minas, Rio Novo e Rochedo de Minas (Figura 8).

Segundo o IBGE (2002), a área municipal encontra-se compreendida em 407,42 km², nos quais se encontram distribuídos 5 (cinco) distritos, a se destacar: a cidade de São João Nepomuceno (sede municipal), Carlos Alves (englobando as comunidades de Machado e Vargem Grande), Ituí (contendo as comunidades de Araci e Boa Vista), Taruaçu (com as comunidades de Cruzeiro e Cafés), e Roça Grande. A divisão distrital do município pode ser observada na Figura 9, presente no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de São João Nepomuceno.



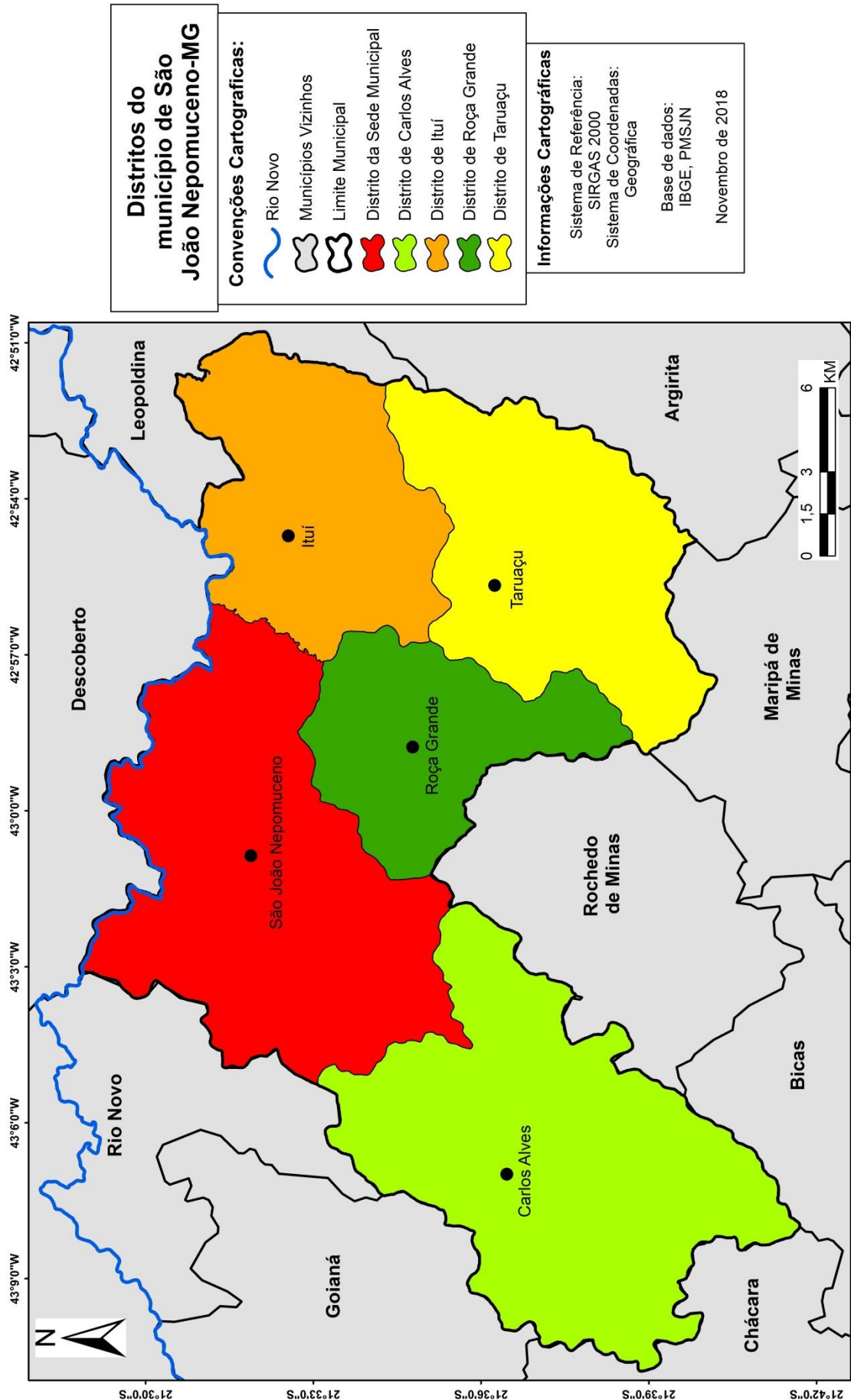


Figura 23: Divisão distrital do município de São João Nepomuceno, segundo o PMSB. Fonte: Conen, 2014.

De acordo com o Censo Demográfico 2010, realizado pelo IBGE, a população presente nos distritos de São João Nepomuceno, conforme apresentada na Tabela 2, era distribuída da seguinte maneira:

Tabela 5: Distribuição da População no Município de São João Nepomuceno, segundo IBGE (2010).

	Pop Total	Pop. Urbana	Pop. Rural
Pop. TOTAL	25.057	23.835	1.222
Distrito Sede	22.680	22.253	427
Carlos Alves	637	414	223
Ituí	468	277	191
Taruacu	541	289	252
Roca Grande	731	602	129

4.4.2 Características Físicas do Município

4.4.2.1 Relevo e Geomorfologia

O município, no qual está situada a área de estudo, encontra-se inserido dentro do domínio morfoclimático dos “Mares de Morros” Florestados, como caracterizou Aziz Ab’Sáber (2003). Área essa caracterizada por “mamelonização extensiva, afetando todos os níveis de topografia” (AB’SABER, 2003, p.16).

Os mares de morros, de maneira geral, apresentam como principais atributos, superfícies aplainadas intermontanas, patamares de pedimentação e eventuais terraços. Tal conformação está ligada a decomposição das rochas cristalinas somado ao processo de convexização em níveis intermontanos, faz segundo Ab’Saber (2003), suspeitar de uma alternância entre a pedimentação e a mamelonização desses compartimentos. Arelado a tais características tem-se a presença de planícies meandricas com o depósito fino de sedimentos nas calhas aluviais. Os solos dessa região tem como particularidade serem superpostos, ou se preferir, com coberturas coluviais soterrando, “*stones lines*”. Por fim, diante das características físicas e naturais, o autor coloca que nesse domínio ainda apresenta “florestas biodiversas, dotadas de diferentes biotas.”

Devido a essa complexidade, o referido autor afirma que tal domínio tem-se mostrado como sendo o “meio físico, ecológico e paisagístico” de mais difícil relação com as atividades antrópicas, principalmente no que diz respeito ao encontro de sítios para a instalação de centros urbanos. Ab’Saber (2003, p.17) caracteriza tal região como sendo “(...) sujeita aos mais fortes processos de erosão e de movimentos coletivos de solo em todo território brasileiro”.

O município em questão apresenta uma altitude média em toda sua extensão que varia entre os 279 e 961 metros (Figura 10).

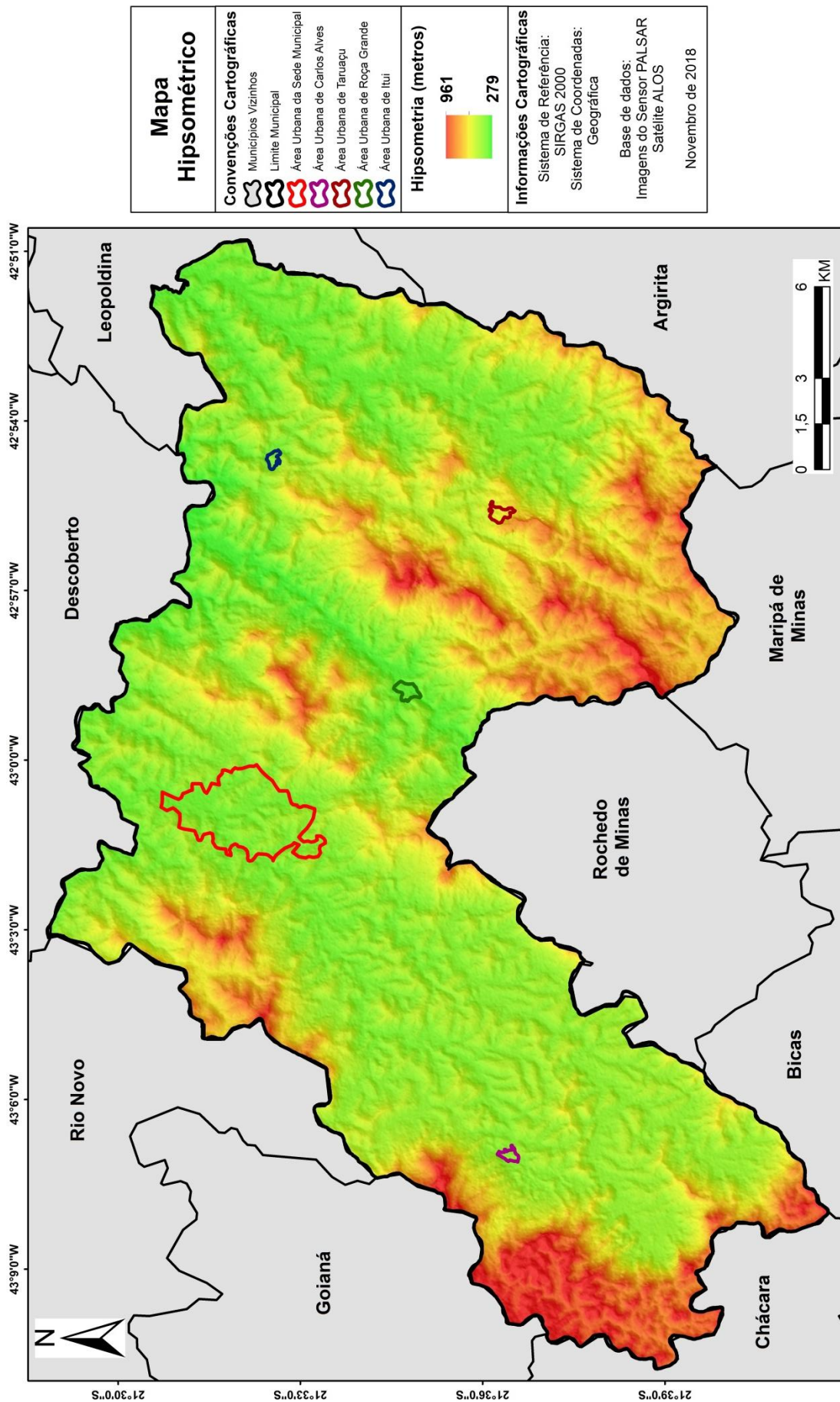


Figura 24: Variação Hipsométrica do município de São João Nepomuceno-MG.

Devido sua localização, suas unidades do relevo encontram-se integradas à cadeia montanhosa da Serra da Mantiqueira, aos Planaltos Dissecados do Centro-Leste de Minas e uma parte ao norte do município pertencente ao Vale do Rio Novo, essa última referente à Depressão do Rio Paraíba do Sul. As três unidades, segundo apresentado Andrade (2006), no Atlas Digital do Estado de Minas Gerais, na parte voltada para a Geomorfologia, apresentam as seguintes características:

- 1) Serra da Mantiqueira – composta por vertentes íngremes com escarpamentos abruptos e vales encaixados. Destacam-se no município a Serra dos Núcleos, Morro da Torre e Serra do distrito de Taruaçu.
- 2) Planaltos Dissecados do Centro-Leste de Minas – constituem-se de altitudes variadas, com uma forte dissecação fluvial que proporciona a produção de um relevo peculiar, com afloramentos rochosos em forma de pontões e mornes que ocorrem isolados, associados às colinas, ou em grupamentos. Associados ao aspecto de “Mares de Morros”.
- 3) Depressão do Rio Paraíba do Sul – nesta unidade predomina um relevo em colinas côncavo-convexas, com amplas planícies aluviais com a presença de cristas isoladas em dois níveis de superfícies de aplainamentos antigas. Áreas essas presentes no Vale do Rio Novo.

De acordo com as unidades geomorfológicas elaboradas pelo Projeto RADAMBRASIL (1983), no município são-joanense é possível encontrar 1 tipo de Domínio Morfoestrutural bem definido, sendo as Faixas de Dobramentos Remobilizados. Conforme apresentado no Plano Municipal de Saneamento Básico, dentro das Faixas de Dobramentos Remobilizados, é possível identificar 3 (cinco) Unidades Geomorfológicas, presentes no limite do município, a se destacar:

- I - Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul
- II - Depressão Escalonada dos Rios Pomba-Muriaé
- III - Serranias da Zona da Mata Mineira.

Segundo o Projeto RADAMBRASIL (1983), tais unidades têm como principais características:

Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul – feições com alto controle geológico disposto em um conjunto de falhas e fraturas. Apresenta um quadro morfológico que reflete as estruturas e a litologia locais, com colinas orientadas e/ou aplainadas num relevo tipo apalachiano. À frente desses modelados, ocorrem colinas convexo-côncavas, com profundidade que variam de 75 a 99 metros. O padrão de drenagem subparalelo presentes nos sulcos estruturais, nas cristas, linhas de cumeadas e em algumas escarpas erosivas, acompanham as linhas de fraturas presentes nesses conjuntos. A referida unidade encontra-se litologicamente inserida no Grupo Paraíba do Sul, onde predominam migmatitos, gnaisses bandeados, quartzitos, granulitos, rochas carbonáticas, rochas intrusivas e depósitos aluvionares. (RADAMBRASIL, 1983, p. 340/341).

Depressão Escalonada dos Rios Pomba-Muriaé - formações superficiais, constituídas do topo para a base de colúvios, linhas de pedra, rocha alterada e finalmente a rocha gnáissica. Também ocorrem áreas de formação lateríticas, observadas descontinuamente em cortes de estradas. A litologia dessa unidade está ligada ao Pré-Cambriano Inferior a Médio, tendo assim, migmatitos associados a gnaisses, metabasitos, xistos, gnaisses charnoquítitos e rochas granulíticas. (RADAMBRASIL, 1983, p. 342).

Serranias da Zona da Mata Mineira - a unidade é marcada por escarpas adaptadas a falhas, sulcos estruturais, grandes linhas de cumeadas e cristas simétricas alinhadas, indicando a direção dos dobramentos e falhamentos ocorridos na área. tal unidade esta alicerçada sobre granulitos, charnoquítitos e migmatitos com formações superficiais correspondentes aos Latossolos e Poszólicos Vermelho-Amarelo. (RADAMBRASIL, 1983. P. 346)

A distribuição dessas Unidades Geomorfológicas, bem como a área que cada uma atinge no município de São João Nepomuceno, encontram-se respectivamente definidas na Tabela 3 e na Figura 11, retidas do Plano Municipal de Saneamento Básico.

Tabela 6: Quantitativo da área ocupada por cada uma das Unidades Geomorfológicas presentes no Município de São João Nepomuceno, segundo PMSB (2014).

Unidade Geomorfológica	Área (Km²)
Serranias da Zona da Mata Mineira	205.8
Depressão Escalonada dos Rios Pomba-Muriaé	201.7
Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul	0.03

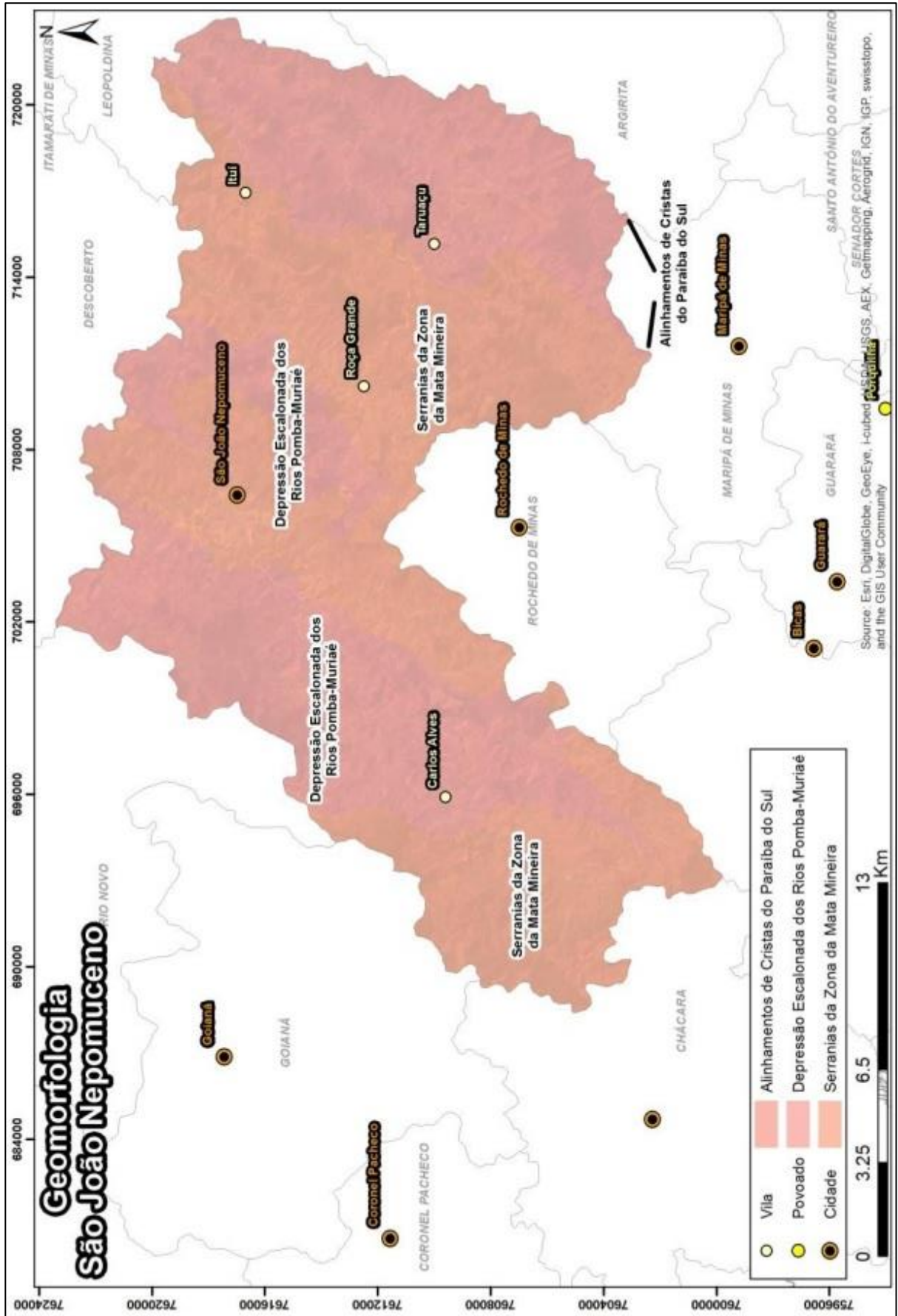


Figura 25: Distribuição e localização das Unidades Geomorfológicas no município de São João Nepomuceno-MG, segundo o PMSB. Fonte: Conen, 2014

4.4.2.2 Geologia

O município são-joanense localiza-se basicamente, no que tange a geologia, sobre três grandes domínios, Complexo Juiz de Fora, Megassequência Andrelândia e Complexo Quirino (Terreno Paraíba do Sul), conforme observado no Projeto Sul de Minas²⁴.

As três unidades geológicas apresentadas se caracterizam por serem de ampla extensão territorial, as quais encontram-se situadas de maneira ampla na região sudeste do Brasil. As mesmas apresentam como características gerais, diversos tipos de rochas metamórficas, com diferentes variações tectônicas, expostas a intensos processos de fraturamento, com deformações anteriores proveniente dos tipos de dobramentos antigos (RADAMBRASIL, 1983).

O primeiro deles, o Complexo Juiz de Fora, como colocado por Noce *et al.* (2007), encontra-se compreendido pelo Embasamento Arqueano e Paleoproterozóico do Orogênio Araçuaí, e se caracteriza, segundo RADAMBRASIL (1983, p.56), por “uma sequência de rochas da “suíte charnockítica”, predominantemente enderbíticas, com faixas kinzigíticas intercaladas, de idade fundamentalmente arqueana, retalhadas no Ciclo Transamazônico e, em parte, do Ciclo Brasileiro.”

No que se refere, portanto, à constituição do Complexo Juiz de Fora, Noce *et al.* (2007, p.21) complementam que o mesmo é composto por

[...] ortognaisses com paragêneses da fácies granulito, e o litotipo característico é um gnaiss enderbítico, granulação média, verde escuro, com bandamento centimétrico e intercalações máficas. Sua mineralogia essencial é plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio e clinopiroxênio; biotita e hornblenda são produtos de reações retrometamórficas. Gnaisses de composição charnockítica são menos frequentes, mas nos gnaisses enderbíticos é comum a presença de bandas e/ou injeções charnockíticas de cor mais clara e granulação mais grossa. Granulitos básicos ocorrem como bandas, lentes e/ou boudins, de tamanho centimétrico a métrico, encaixados nos gnaisses enderbíticos.

A Megassequência Andrelândia, tendo sua origem constituída ao longo de seu domínio no Terreno Ocidental ao Cráton do São Francisco, apresenta como cobertura metassedimentar, duas unidades litológicas da base para o topo:

Biotita gnaiss bandado - Caracterizada pela alternância métrica a centimétrica de camadas leucocráticas quartzo-feldspáticas e camadas mesocráticas ricas em biotita, que refletem o acamamento sedimentar transposto. A mineralogia é constituída por plagioclásio, quartzo, microclina perfitica e biotita e os acessórios são granada, zircão, turmalina, monazita e apatita. Carbonato e mica branca ocorrem como

²⁴ Projeto o qual conta com um conjunto de 13 mapas geológicos, na escala 1:100.000 com notas explicativas e informações geológicas, correspondentes às folhas Andrelândia, Caxambu, Chiador, Juiz de Fora, Lavras, Leopoldina, Muriaé, Pirapetinga, Pouso Alto, Rio Preto, Santa Rita do Jacutinga, São João Del Rei e Ubá. O projeto foi desenvolvido em convênio entre a CODEMIG/UFMG, com interveniência da ex-Secretaria de Estado de Minas e Energia – SEME, SEMAD e FUNDEP. Informações e acesso às folhas podem ser obtidas por meio do site: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapeamento-geologico/>

minerais de alteração. Estruturas migmatíticas, principalmente estromáticas, mostram a diferenciação do gnaiss em paleossoma e neossoma. Os leucossomas graníticos de granulação grossa são bordejados por melanossomas ricos em biotita e plagioclásio. O conjunto é cortado por pegmatitos e aplitos. Ocorrem diversas intercalações de rochas calcissilicáticas, quartzitos impuros e rochas manganésíferas (gonditos). Na porção norte da folha, no Domínio Andrelândia, foram individualizadas camadas anfíbolíticas mais espessas.

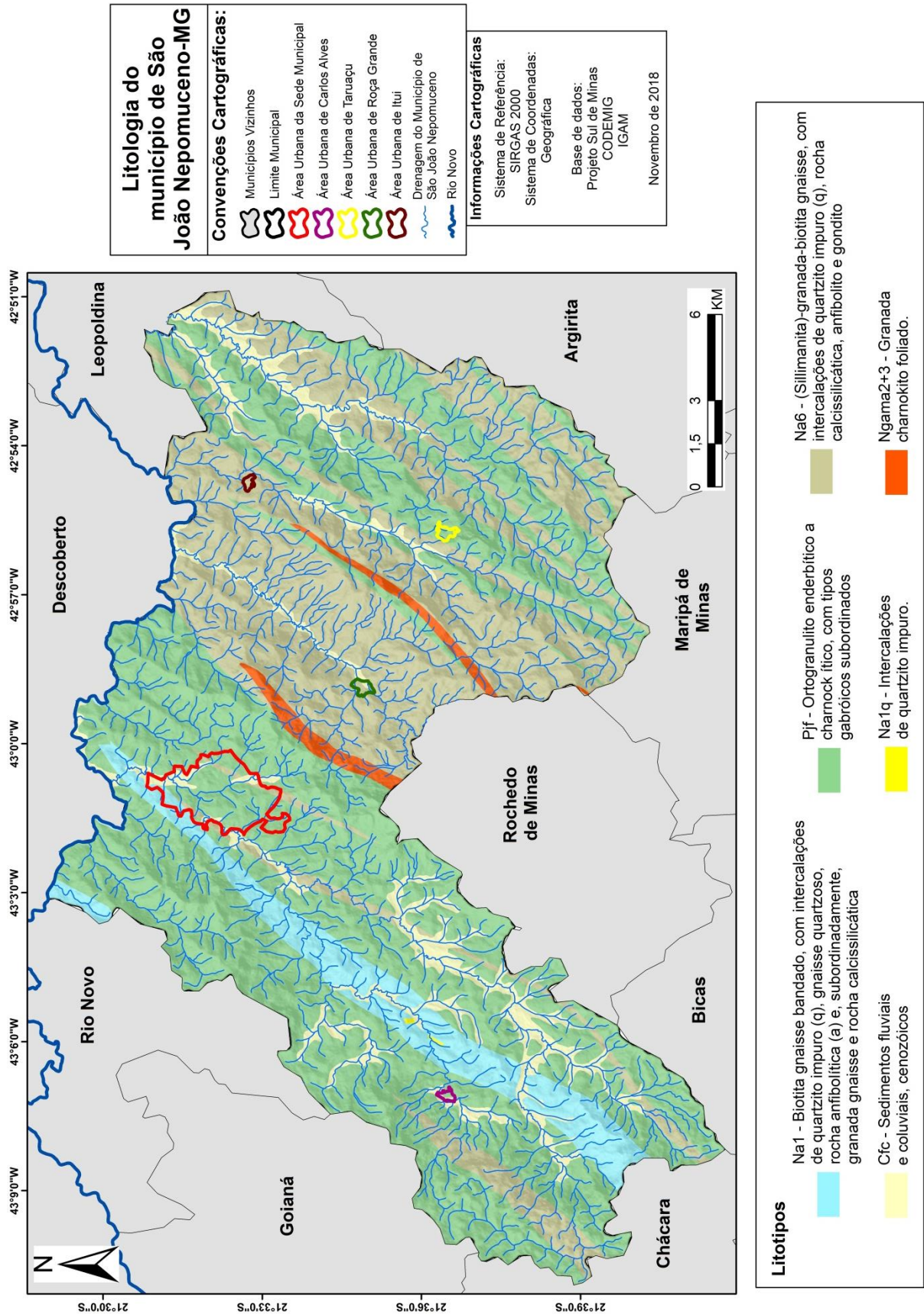
Sillimanita-granada-biotita gnaiss - Constitui a unidade superior da Megassequência Andrelândia, englobando gnaisses de derivação pelítica a semipelítica, ricos em biotita, granada e sillimanita fibrosa. Possui intercalações métricas a centimétricas de rochas manganésíferas (gonditos), biotita gnaisses bandados, rochas calcissilicáticas e quartzitos. Bancos de quartzitos foram individualizados, variando desde muito puros a feldspáticos, podendo ainda conter mica branca, sillimanita, turmalina, zircão, magnetita e ilmenita. Em função do aumento do grau metamórfico, esse gnaiss pelítico transiciona para paragonulito contendo ortopiroxênio e feldspatos verdes.

Por fim, o Complexo Quirino, tem sua história tectônica muito similar ao Complexo Juiz de Fora, provenientes de plutonismo e/ou metamorfismo no Transamazônico, estando por sua vez, sua evolução intrinsecamente ligada ao desenvolvimento do ciclo no embasamento das sequências sedimentares da Megassequência Andrelândia (VALADARES, 1996, p. 133).

O Complexo Quirino é estruturalmente compreendido por

ortognaisses tonalítico-granodioríticos e graníticos, com enclaves de rochas ultramáficas, máficas e calcissilicáticas (tremolíticas). Intercalações de anfíbolitos e lentes de leucogranito ocorrem com frequência. Na porção basal deste domínio, os ortognaisses tornam-se mais migmatíticos, sendo frequentes as estruturas estromáticas. Hornblenda, biotita, microclina, plagioclásio e quartzo formam a mineralogia essencial, tendo titanita, apatita, opacos e zircão como acessórios. O Complexo Quirino engloba uma suíte cálcioalcalina de médio-K (ortognaiss tonalítico a granodiorítico) e uma suíte de alto-K (ortognaiss granodiorítico a granítico). (MINAS GERAIS, 2003).

Diante das informações apresentadas referentes às principais unidades geológicas que podem ser encontradas no município são-joanense e utilizando-se dos mapas geológicos na escala de 1:100.000, disponibilizados pelo Projeto Sul de Minas idealizado pelo estado de Minas Gerais, através da CODEMIG, foi possível destacar 6 (seis) diferentes litotipos presentes no município de São João Nepomuceno, conforme representado na Figura 12.



4.4.2.3 Solos

Dada a evolução pedológica, principalmente em meio tropical úmido, como no sudeste brasileiro, Lopes (2006) coloca que os solos desempenham um papel importante para o desenvolvimento e ocorrência dos movimentos de massa.

Estando São João Nepomuceno, situado em tal realidade climática, e também localizado numa região cujas condições geomorfológicas são diversas, destaca-se no município, mesmo sem uma base pedológica detalhada para tal, tipos de solos variados.

Dada a ausência de mapeamentos de solo em escala de detalhe, adotou-se a priori, como material base o levantamento de solos realizado pela UFV *et al.* (2010) para todo o estado de Minas Gerais, em escala de 1: 650.000, para a identificação dos tipos de solos existentes no município de São João Nepomuceno.

A partir de tal estudo, foi capaz de destacar 6 (seis) tipos diferentes de solos no município são-joanense, onde a localização e identificação destes encontram-se situadas na Figura 13.

Já a descrição e caracterização de cada um dos tipos, seguem o que foi definido na legenda expandida do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV *et al.*, 2010),

CXbd32 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura média e argilosa fase rochosa e não rochosa (40 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa e muito argilosa (30 %), ambos relevo forte ondulado e montanhoso + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutrófico típico textura média relevo montanhoso e escarpado (30 %) todos A moderado. (UFV *et al.*, 2010, p.29)

LAd4 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico, textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (40 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico textura argilosa relevo forte ondulado (40 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso fase pedregosa e não pedregosa (20 %) (UFV *et al.*, 2010, p.8).

LVAd58 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura argilosa muito argilosa (40 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura argilosa (20 %), ambos A moderado relevo forte ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico A moderado e proeminente textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (20 %) + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (10 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (10 %). (UFV *et al.*, 2010, p.17)

LVAd62 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura muito argilosa (50 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura muito argilosa (30 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa/muito argilosa (20 %) todos A moderado relevo forte ondulado e montanhoso. (UFV *et al.*, 2010, p.18)

LVAd63 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (60 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura muita argilosa relevo ondulado e forte ondulado (20 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa/muita argilosa relevo forte ondulado (20 %), ambos A moderada. (UFV *et al.*, 2010, p.18)

LVAd71 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (40 %) + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutrófico típico textura média relevo montanhoso e escarpado (20 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico textura argilosa relevo forte ondulado (20 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média/argilosa (20 %) todos A moderado. (UFV *et al.*, 2010, p.19)

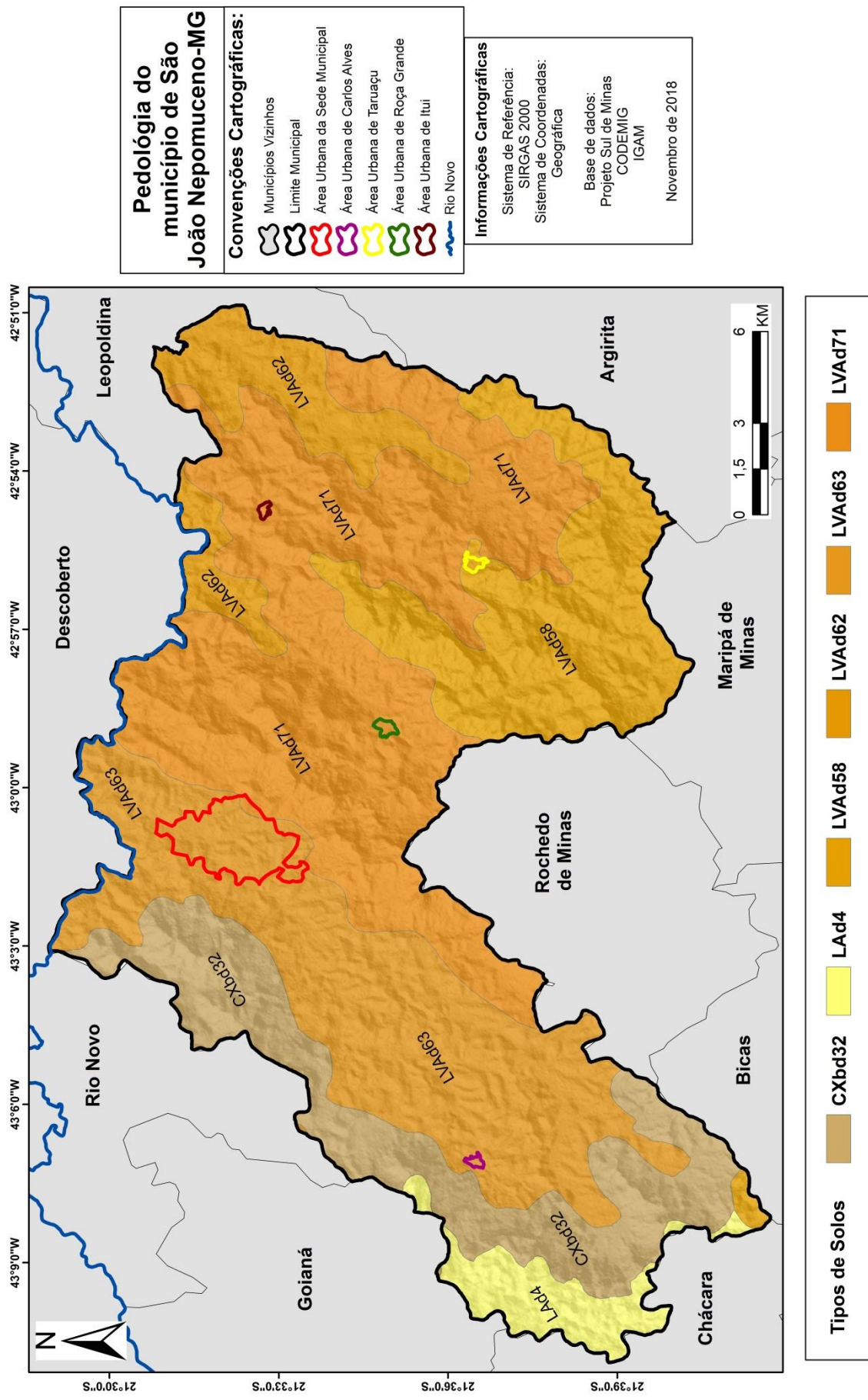


Figura 27: Classes de Solos presentes no município de São João Nepomuceno-MG.

4.4.2.4 Clima e Vegetação

O município de São João Nepomuceno, encontra-se situado em uma região a qual apresenta um clima denominado “tropical de altitude”, de acordo com a classificação por Koeppen (1948). As principais características que se destacam nesse tipo climático são: duas estações do ano bem definidas, inverno com temperaturas amenas e baixa precipitação, e verão quente e com altos índices de precipitação.

O clima tropical de altitude, encontrado na região sudeste do Brasil, é muito influenciado pela passagem e frequência das massas de ar tropicais e polares, que se alternam de acordo com as estações do ano. Segundo Alves (2015, p.20), existem 4 (quatro) tipos de massas (sistemas) de ar que atuam na região ao longo do ano, sendo elas equatorial continental (Ec), polar atlântica (Pa), tropical atlântica (Ta), tropical continental (Tc).

Além das massas de ar, o fator altitude também exerce forte influência nos valores de temperatura e pluviosidade. Sant’Anna Neto, (2005, p.47) destaca que:

A presença das serras do Mar, da Mantiqueira, do Espinhaço, dos Órgãos, da Canastra e de Caparaó, quase todas dispostas no sentido norte/sul, a despeito de produzir um clima tropical de altitude, por seu efeito nas temperaturas, também exercem importante papel da distribuição espacial das chuvas, gerando “ilhas” úmidas nas vertentes leste e sudeste e, “ilhas” secas (ou sombras de chuva) nas vertentes oeste e norte.

Nas porções mais elevadas da serra da Mantiqueira, com altitudes superiores a 1.500 metros, como em Campos do Jordão (SP) ou em Itatiaia (RJ), o efeito altimétrico determina temperaturas mínimas frequentemente inferiores a zero grau nos invernos, inclusive com a presença de neve, em não raros episódios. Por outro lado, nos vales fluviais interiores, de altitudes mais modestas, inferiores a 500 metros, as temperaturas máximas de verão ultrapassam os 40° C com frequência.

Como consta no Plano Municipal de Saneamento Básico, São João Nepomuceno registra uma temperatura média anual de 22,3° C, com sua máxima anual podendo chegar a 27,9° C e a mínima a 15,3° C. Ainda segundo o PMSB, o município possui um índice pluviométrico anual em torno de 1.500 mm.

Com relação à vegetação, conforme consta no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2014), a maior parte do município tem o uso relacionado à agricultura e a pecuária, ocupando cerca de 87% da área.

Em contrapartida, a distribuição de fragmentos florestais é bem pequena, estando esses espaçados ao longo do município, ocupando uma área de aproximadamente 12% do município. Esses fragmentos estão associados basicamente as classes Floresta Estacional Semidecidual Montana e Submontana, conforme pode ser observado na Figura 14.

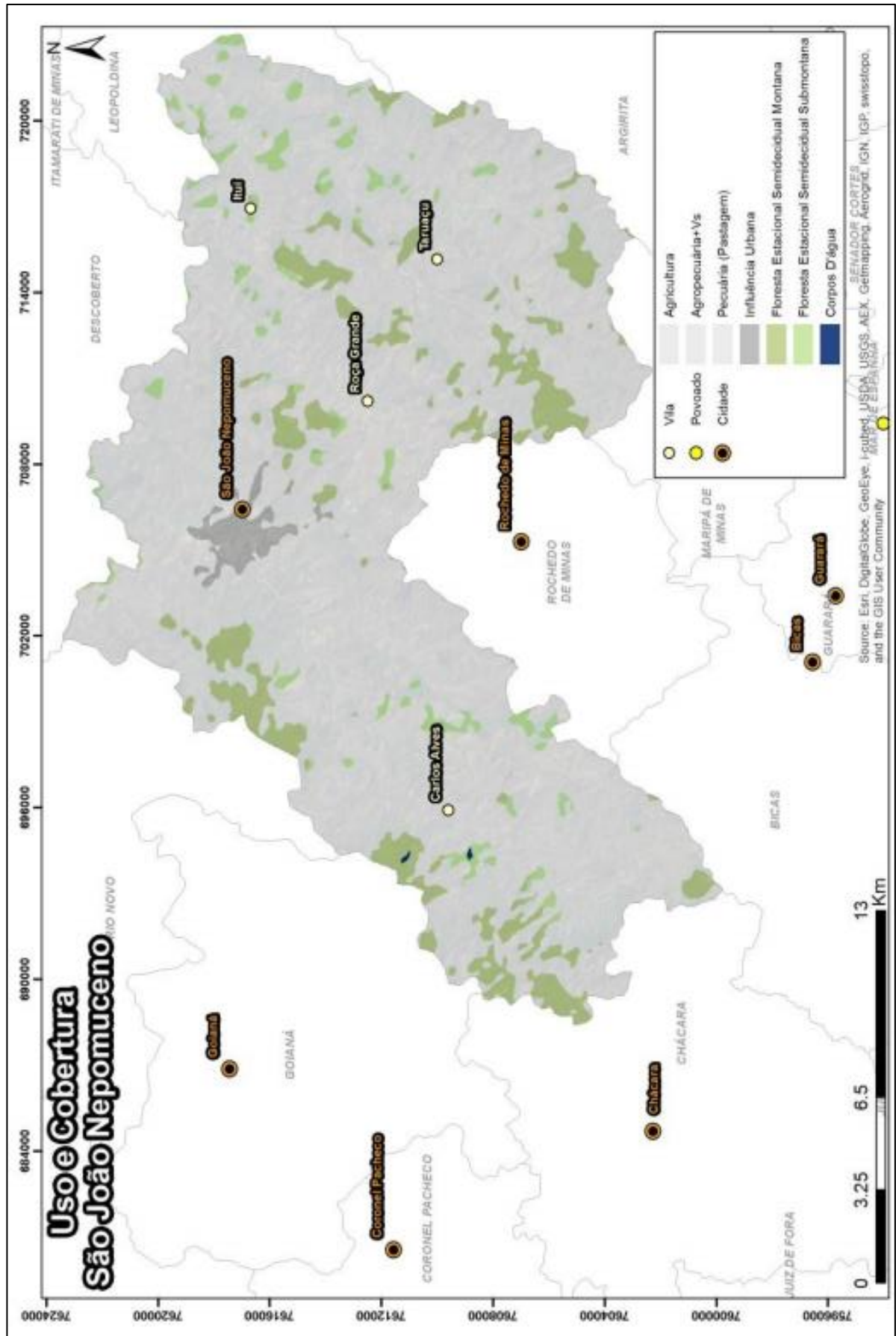


Figura 28: Distribuição e localização das classes de uso e cobertura da terra no município de São João Nepomuceno-MG, segundo o PMSB. Fonte: Conen, 2014.

4.5 Área de Estudo: Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares

Neste tópico do trabalho encontram-se apresentadas as características, os materiais e os mapas correspondentes à área de estudo na qual se propõe criar um Zoneamento de Áreas de Risco a Escorregamentos.

Como já exposto em outrora, a escolha das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, se justifica pelo fato destas abarcarem grande parte do espaço urbanizado da cidade de São João Nepomuceno.

Além disso, a escolha de tal área de estudo, se deu a partir do interesse em aplicar as metodologias para a identificação de áreas de risco a escorregamentos em uma área de menor extensão, a fim de observar de maneira mais detalhada os resultados gerados a partir da aplicabilidade dos procedimentos e técnicas adotados, antes de empregá-los em locais de maiores dimensões. Isso porque, este trabalho se caracteriza como pioneiro na análise de risco a escorregamentos para municípios de pequeno porte, utilizando-se de uma base de dados alternativa cientificamente e viável financeiramente.

Portanto, o limite que abarca as duas bacias hidrográficas mencionadas (Figura 15), corresponde a uma área de 10,15 km². O mesmo foi definido a partir das curvas de nível e da drenagem existentes nas cartas topográficas do IBGE, com a interpretação e auxílio de imagens de satélite do *World Imagery Basemap*, presente no *software ArcGIS*, e também com a ajuda da altimetria extraída do sensor PALSAR presente no satélite ALOS.

A drenagem existente na área, formadas pelo Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, quando somadas às drenagens do Ribeirão Carlos Alves formam a bacia hidrográfica mais extensa existente no município de São João Nepomuceno, a Bacia do Ribeirão São João, afluente direto do Rio Novo.

Como pode ser observado na Figura 15, ambas as Bacias Hidrográficas escolhidas para este estudo, se localizam na região central do município de São João Nepomuceno.

Com destaque para as características locais, o limite da região de estudo contempla tanto locais com áreas construídas e urbanizadas, abarcando inclusive boa parte da população residente na sede municipal, quanto espaços com a presença de fatores geoambientais, e que por sua vez, ainda não se encontram urbanizados.

No que se refere a dados demográficos, encontra-se residente na área de estudos uma população de aproximadamente 15 mil pessoas, segundo pesquisa realizada nos microdados

do IBGE (censo de 2010), levando em consideração os setores censitários existentes no limite da área.

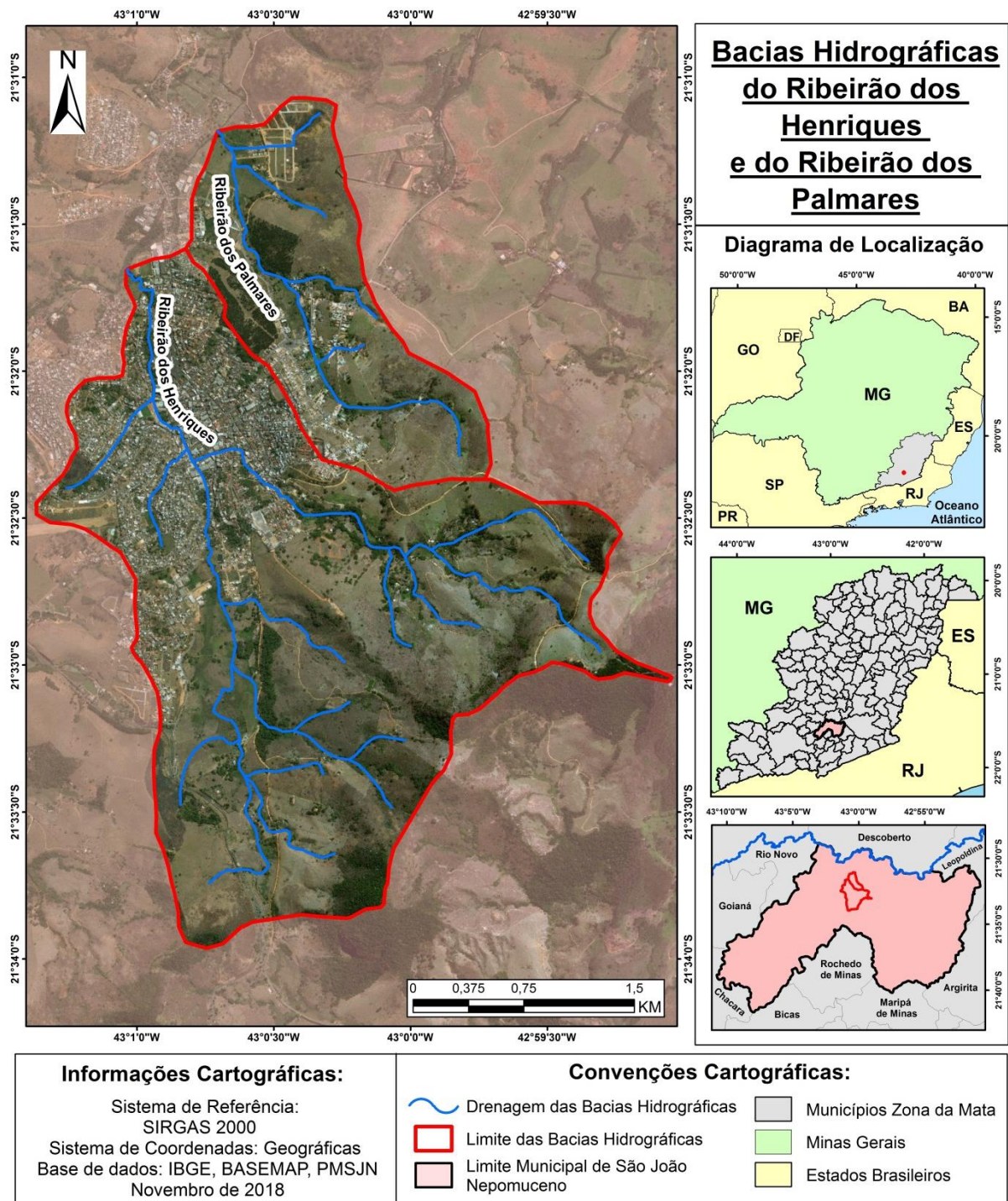


Figura 29: Localização da área de estudo, definidas pela delimitação das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares.

No que se refere aos parâmetros físicos levantados para a área de estudo e que serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa, constam a Altimetria, a Declividade, o Mapeamento das Cicatrizes de Escorregamentos, a Litologia e a Pedologia para o limite das bacias hidrográficas observadas.

O mapa criado para a representação da Altimetria (Figura 16) foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação existente nos produtos do sensor PALSAR. Após o recorte para a área de interesse, foi possível observar que a variação existente na área é de aproximadamente 460 metros, com valores mínimos de 327 metros, sendo observados em áreas de fundo de vales, e cotas máximas na casa dos 787 metros, localizadas nos topos de morros no perímetro das bacias em análise.

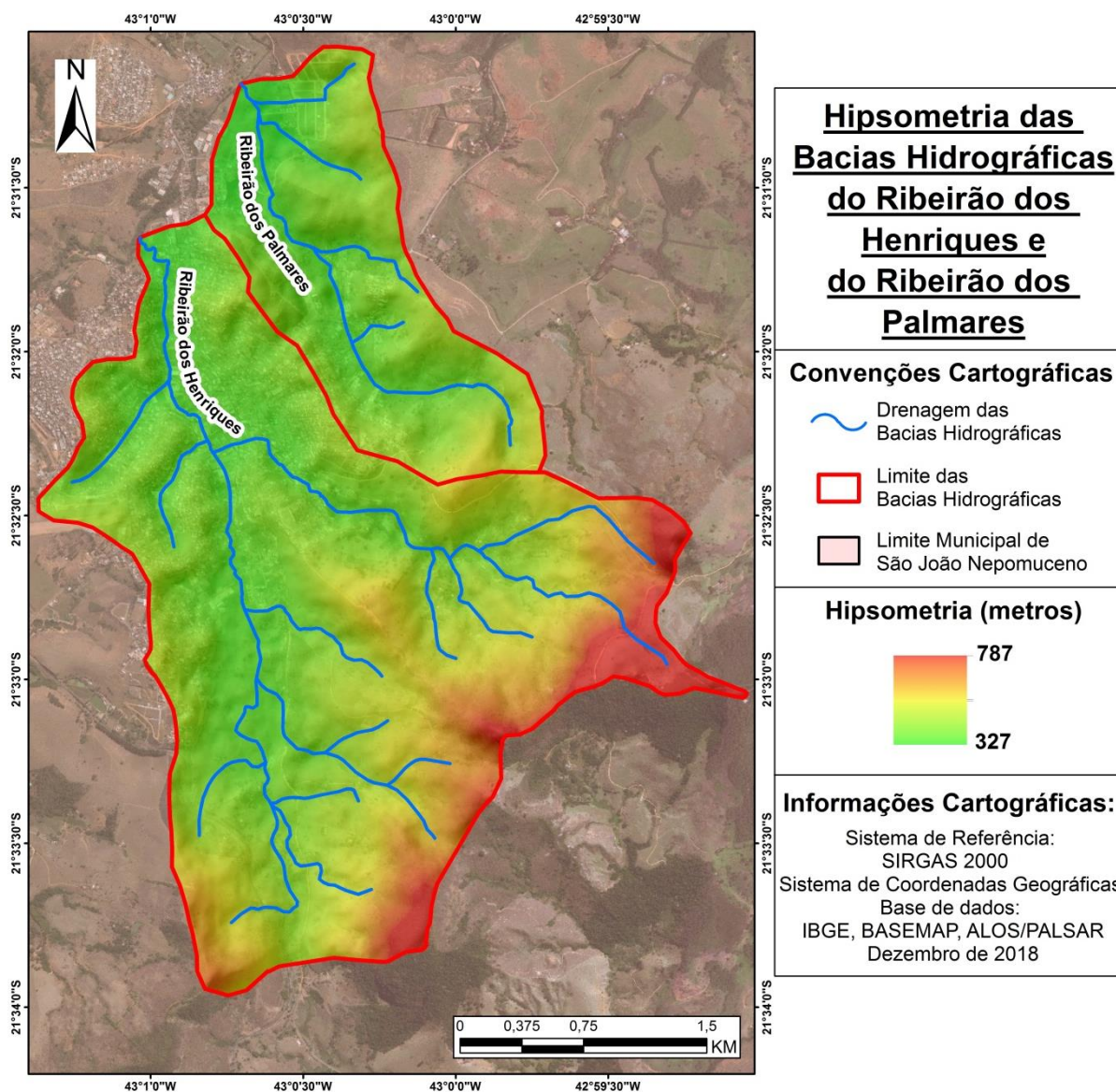


Figura 30: Hipsometria da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

A partir do mapa Hipsométrico, é possível verificar como se dá a variação da altimetria presente nas bacias hidrográficas. Neste caso, estando a área pesquisada inserida dentro do domínio morfoclimático dos “mares de morros” denominado por Ab’Saber (2003), nota-se que existe uma grande mudança nos valores de altitudes entre fundo de vales,

associados à presença de linhas de drenagem, e topos de morros, que por sua vez, perpassam por encostas com diversas modificações de declividade, como observado na Figura 17.

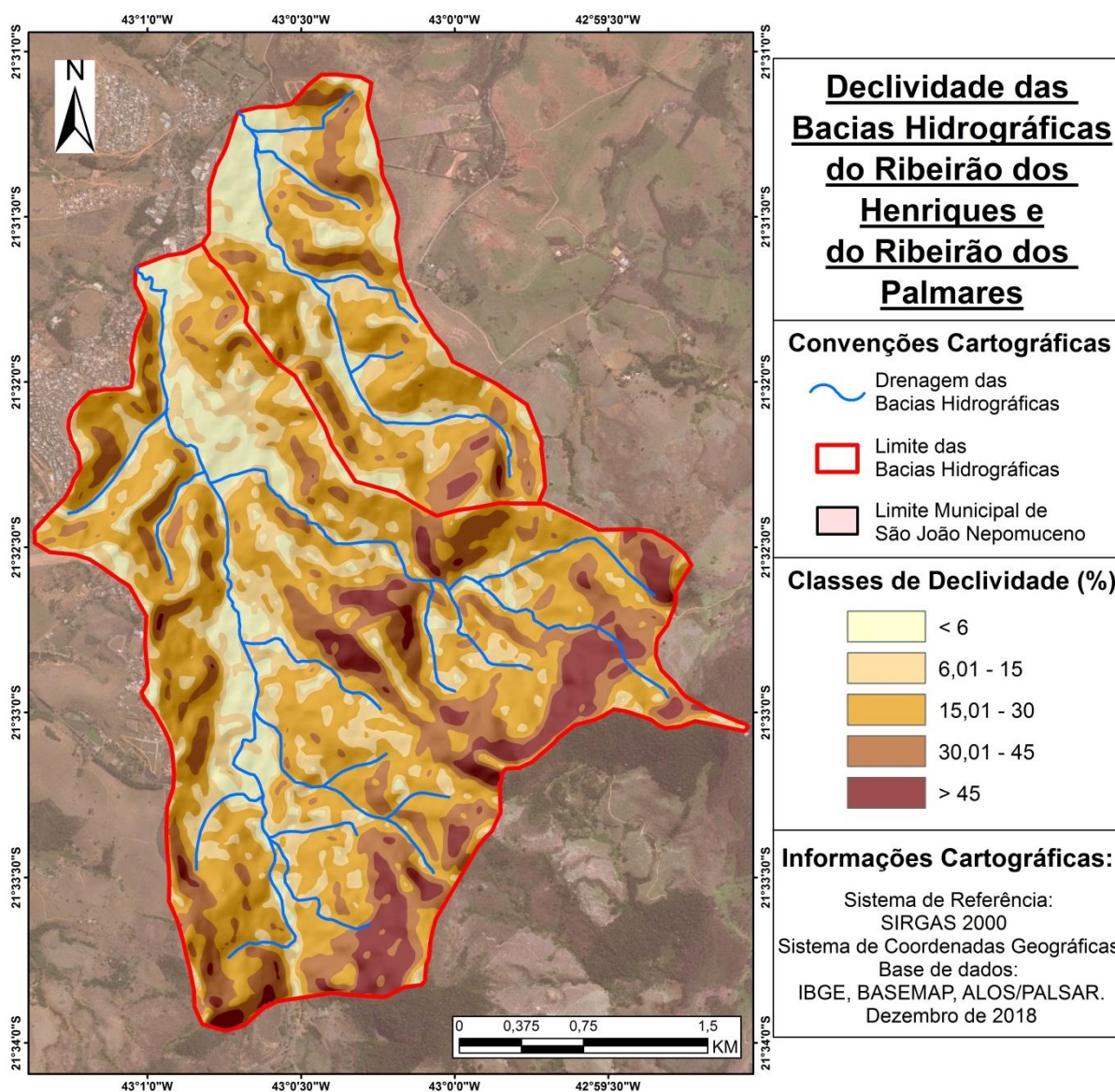


Figura 31: Declividade da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Sendo a declividade definida a partir da inclinação da superfície do terreno em relação a horizontal, seu vínculo com a altimetria presente em determinada área, está associado à variação da altimetria em um dado recorte espacial. Neste caso, quanto maior a diferença em metros, em um curto espaço, maior será a declividade naquele local, em contrapartida quanto menor a diferença altimétrica, menores será os valores da declividade.

Assim, como observado, na Figura 17, as inclinações representadas para as Bacias Hidrográficas em análise, apresentam variações diversas em localidades com baixa alteração na altimetria, fato este observado tanto nos fundo de vale, quanto nos topos de morros. Portanto, conclui-se que existe uma grande alternância nos valores de declividade na área de

estudo, a qual não está correlacionada diretamente com a hipsometria observada (Figura 16), mas sim com a conformação do relevo existente (Figura 18), associado ao domínio morfoclimático que predomina sobre a região.



Figura 32: Representação de algumas localidades presentes nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares, que exemplificam a conformação do relevo existente na área de estudo.

Diante do que foi abordado, e levando em consideração acontecimentos sociais ocorridos ao longo da história dentro da área de estudo, nota-se que o processo de ocupação, iniciado no século XIX, fez com que as áreas mais baixas e planas do relevo, ao longo dos anos, fossem quase que totalmente ocupadas, fato este que levou grande parte dos imigrantes a se instalarem em locais menos propícios à construção de moradias, com destaque para áreas ao longo das vertentes e topos de morros.

Tais processos de uso e ocupação ocorridos dentro do limite da área de estudos provocam, variadas modificações dos elementos da superfície, tais como, a retirada da vegetação, impermeabilização das superfícies, alterações nos perfis dos solos, mudanças nos canais de drenagem, dentre outros. Essas modificações, de certa forma, alteram as estrutura dos solos existente na área, a declividade do terreno, além de alterarem o caminho de percolação da água sob e sobre o solo.

Diante de tal realidade, as ocorrências de escorregamentos e de outros movimentos de massa nessa localidade tornam-se cada vez mais propensos a acontecer, assim como outros que já foram observados e registrados (Figura 19 e Quadro 1).

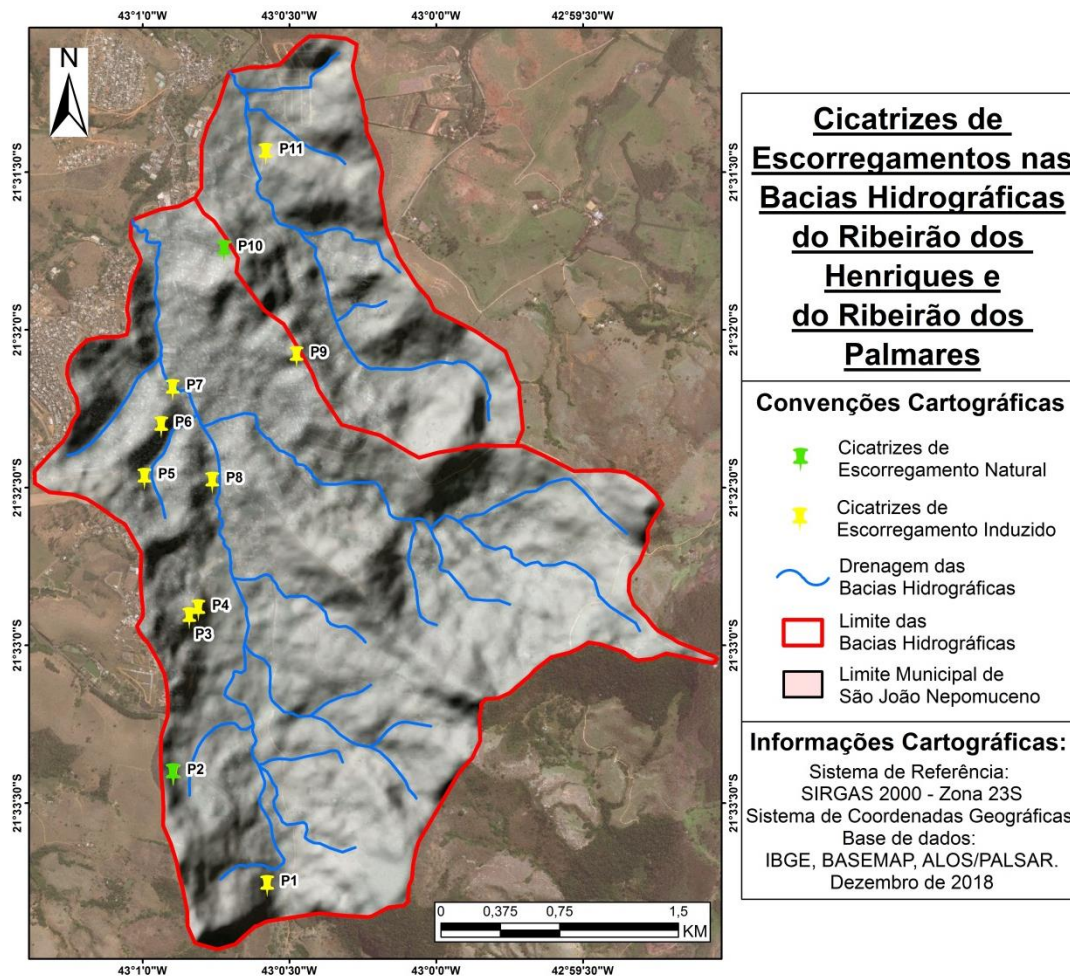


Figura 33: Cicatrizes de Escorregamentos observadas dentro das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Quadro 1: Localização, Tipo e Caracterização das Cicatrizes de Escorregamentos identificadas nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares.

Identificação da Cicatriz no Mapa	Localização da Cicatriz	Tipo e Caracterização da Cicatriz
P1	Trevo de acesso para o distrito de Roça Grande	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda da parte superior do talude devido a sua retificação para a abertura de estrada.
P2	Trevo de acesso à área urbana de São João Nepomuceno	Cicatriz de escorregamento natural, próximo a um lineamento de drenagem, causado possivelmente pelo rebaixamento do nível da drenagem.
P3	Estrada de acesso à área urbana de São João Nepomuceno	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda de parte do talude devido a retirada de material na base do mesmo, para confecção de tijolos (olaria).
P4	Estrada de acesso à área urbana de São João Nepomuceno	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda de parte do talude devido a sua retificação, para a abertura de lote.
P5	Rua Alcebiades Valente	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda de parte da rua, provocada por deslocamento de material da parte inferior da encosta.
P6	Rua Alcebiades Valente	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, deslocamento de material na encosta.
P7	Rua Prefeito Nagibe Ayupe	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda do terço superior do talude causado retificação do mesmo.
P8	Rua Sebastião P. Alves	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda de parte da rua, provocado pelo deslocamento de material da parte inferior da encosta
P9	Rua Bárbara Heliodora	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda da parte superior do talude devido a sua retificação para a construção de residência na base da encosta.
P10	Rua Coronel Ricardo Martins	Cicatriz de escorregamento natural antiga, com presença de ravinas e vocorocas em estágio ativo e acelerado de erosão e transporte de material.
P11	Proximo à Rua Celso Cosme de Castro	Cicatriz de escorregamento ocasionado por intervenção antrópica no ambiente, queda da parte superior do talude devido a sua retificação para a abertura de estrada.

As cicatrizes mapeadas para o limite das Bacias Hidrográficas em análise demonstram que o processo de escorregamento, assim como evidenciados em outros estudos (PECHINCHA, 2014; COSTA 2016a; MENON JUNIOR, 2016) ocorre de maneira diversificada, sendo estes caracterizados como naturais, quando o evento foi ocasionado por condições naturais, ou induzidas por algum tipo de intervenção antrópica no ambiente que impulsionou a ocorrência do escorregamento.

Os registros de escorregamentos pretéritos, foram identificados por meio de análise visual de imagens de satélite, com auxílio do *World Imagery Basemap* presente no *software ArcGIS*, também por meio de observação visual em campo. A confirmação e validação dos eventos observados se deram por meio de visitas a campo para a marcação dos pontos a partir de um GPS da marca GARMIN, modelo GPSMAP 62 (Figura 20).

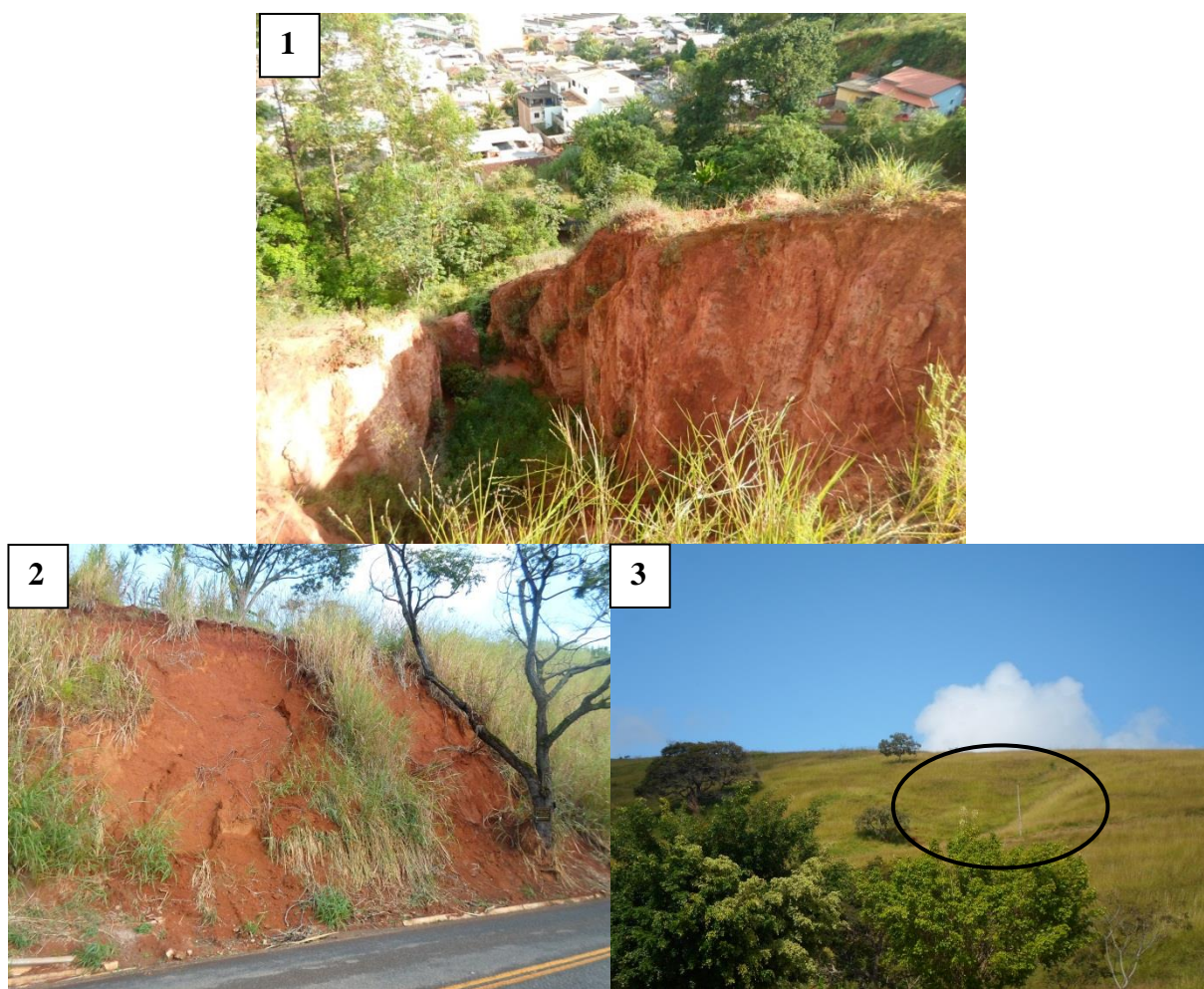


Figura 34: Exemplos de Cicatrizes de Escorregamentos observadas dentro das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares. 1 – Escorregamento Natural Antigo; 2 – Escorregamento Induzido Recente; 3 – Escorregamento Natural Antigo.

A título de comparação, tomando como base o mapeamento das cicatrizes de escorregamentos observadas no limite das Bacias Hidrográficas em estudo (Figura 19), e o

Mapa de Declividade da área (Figura 17), 2 (dois) dos eventos catalogados encontram-se situados sobre a classe de valores maiores que 45% de declividade, outras 7 (sete) cicatrizes encontram-se localizadas sobre a classe de 30 – 45%, e os 2 (dois) escorregamentos restantes, foram registrados sobre a classes de 15 a 30% de declividade.

Diante de tal constatação, observa-se que a declividade se destaca como um fator de grande correlação à ocorrência de escorregamentos pretéritos. Neste caso, estando a inclinação do terreno interligada a outros atributos como, por exemplo, quantidade de água no solo, tipo e natureza dos materiais pedológicos, diferentes tipos de uso, cobertura e ocupação, a mesma pode se comportar como uma das principais responsáveis pela deflagração a ocorrência de escorregamentos futuros.

Além da declividade, outro fator importante de ser destacado é a natureza dos materiais, ou seja, as particularidades provenientes da origem litológica dos solos e rochas presentes na área de estudo. Neste caso, a litologia condizente aos limites das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, encontra-se disposta por 4 (quatro) litotipos distintos: 1) **Pjf**; 2) **Na6**; 3) **Cfc** e 4) **Ngama 2+3** (Figura 21).

As litologias observadas são pertencentes aos domínios Andrelândia e Juiz de Fora, que por sua vez, incluem unidades arqueanas e paleoproterozóicas correlacionadas ao embasamento do Cráton do São Francisco (localizadas a sul e sudeste do mesmo) e integram o Terreno Ocidental do Orógeno Ribeira (MINAS GERAIS, 2003; HEILBRON, *et al.*, 2004).

Como características, no que se refere ao embasamento do Domínio Andrelândia, o mesmo é paleoproterozóico-arqueano do Complexo Mantiqueira, que tem como características litotipos ortoderivados

geralmente presentes em um mesmo afloramento: hornblenda-biotita gnaisses bandados, hornblenda gnaisses, biotita gnaiss fino, gnaiss porfiróide, gnaiss diorítico, leucognaiss e anfibolitos. Hornblenda, biotita, plagioclásio, feldspato potássico e quartzo ocorrem em proporções variadas nos tipos ácidos a intermediários, os quais se agrupam em quatro suítes cálcio-alcálicas distintas. Apatita, titanita, zircão, allanita, magnetita e pirita são acessórios comuns. As rochas básicas formam um conjunto muito heterogêneo. Os dados geocronológicos disponíveis indicam idades predominantemente paleoproterozóicas e forte componente de retrabalhamento de crosta arqueana. (MINAS GERAIS, 2003)

Já o embasamento do Domínio Juiz de Fora, é o Complexo Juiz de Fora, constituído no Paleoproterozóico (entre 2,5Ga e 1,6Ga) o mesmo é composto por ortognaisses e metabasitos com paragêneses da fácies granulito. Nesta unidade, compreende predominantemente

tipos de composição tonalítica (enderbitos) a granítica (charnock itos), com rochas gabróicas e dioríticas (piribolitos e pirigarnitos) subordinadas. Feldspatos, quartzo, hiperstênio e/ou bronzita e diopsídio são minerais essenciais. Hornblenda e biotita

são subordinadas e, geralmente, formadas a partir dos piroxênios por retrometamorfismo. Granada almandina ocorre como coronas simplectíticas em piroxênios das rochas básicas. Zircão, monazita, apatita, ilmenita e sulfetos são minerais acessórios. Os ortogranulitos transicionam para gnaisses bandados com alternância de faixas claras e escuras, em virtude de maior deformação e retrometamorfismo. (MINAS GERAIS, 2003)

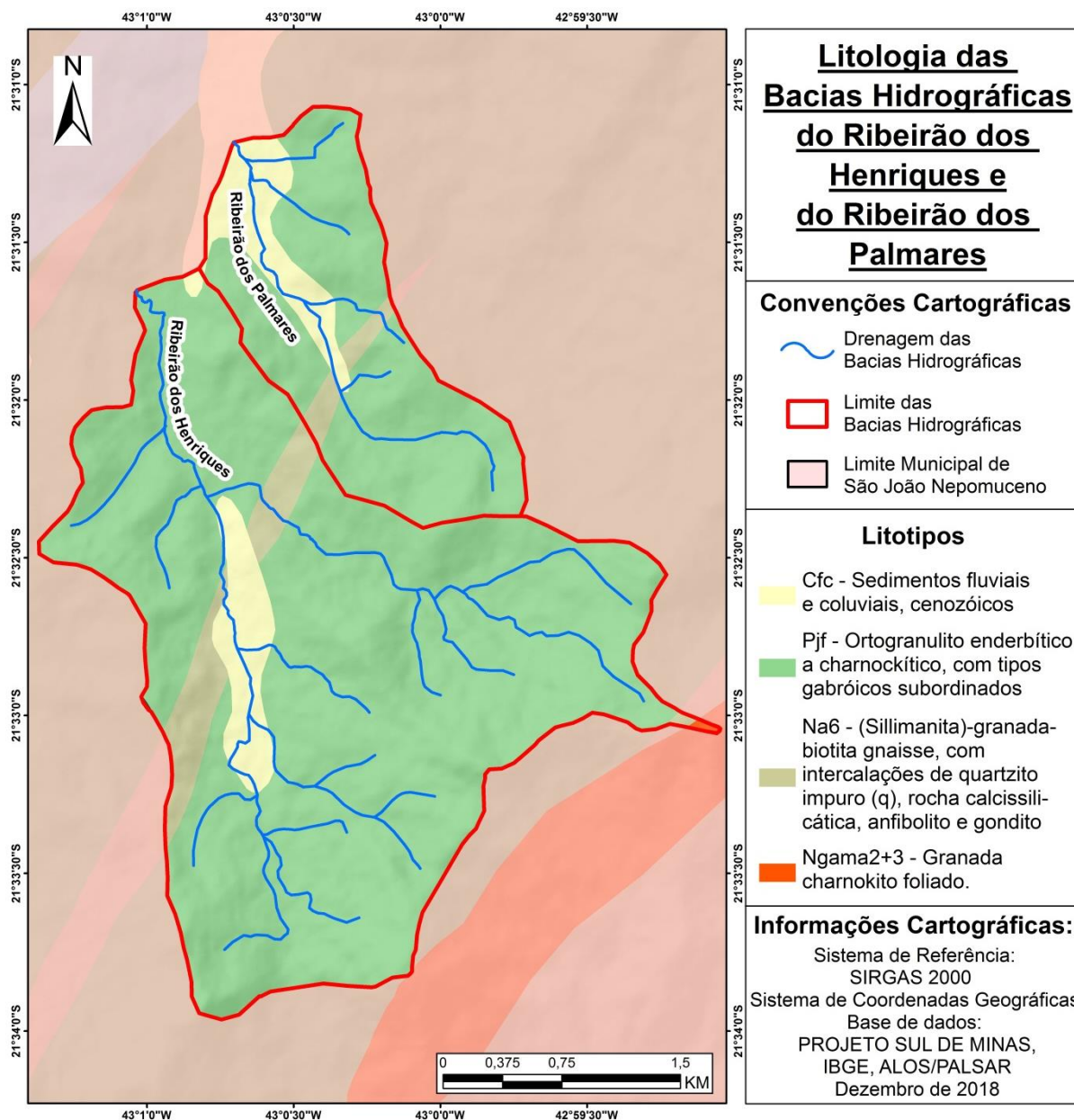


Figura 35: Litologia da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

No que tange à pedologia existente na área escolhida para estudo, foi possível identificar 2 (dois) tipos diferentes de solos, de acordo com o levantamento de solos realizado pela UFV et al. (2010), cuja escala encontra-se definida em 1:650.000²⁵.

²⁵ Neste caso, devido a escala em que tal documento foi desenvolvido, vale salientar que possivelmente haja outros tipos de solos presentes na área da pesquisa, porém, devido a outras demandas exigidas nessa pesquisa, adotou-se para o mapeamento de solos, as classes representadas pelo Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais.

A espacialização e caracterização dos solos identificados encontram-se representados na Figura 22.

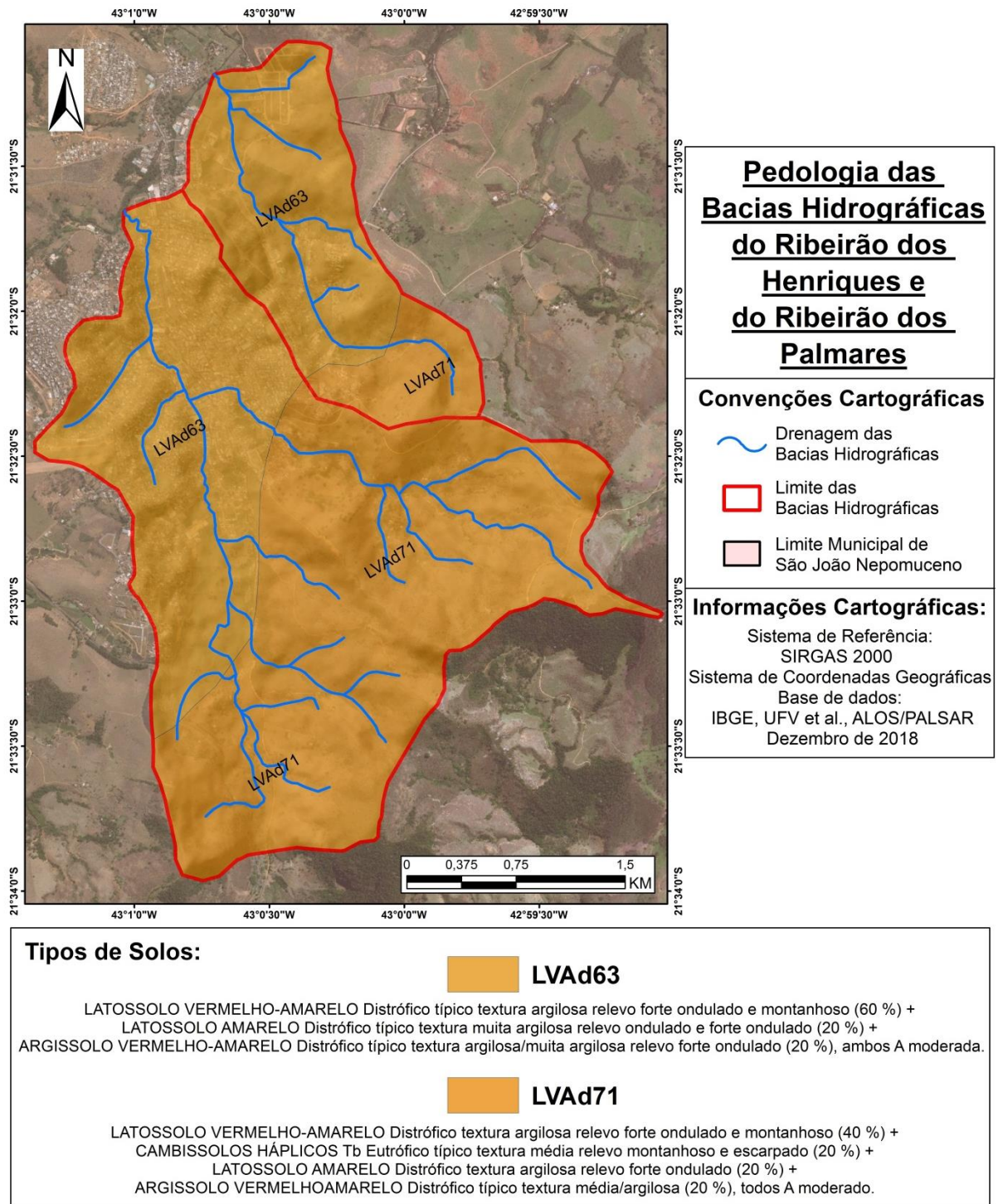


Figura 36: Pedologia da área de estudo, definidas para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

A partir da representação pedológica observada na área *core*, foi possível selecionar em cada tipo de solo aparente, 1 (um) ponto de coleta para a realização e levantamentos dos parâmetros físicos, os quais foram utilizados para alimentar o modelo SINMAP, voltado para o mapeamento de índices de estabilidade em encostas.

5 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

Diante do interesse da pesquisa em criar um Zoneamento de áreas propensas ao Risco de Escorregamentos Translacionais Rasos para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, a partir da aplicação do modelo SINMAP, utilizando-se de um Modelo Digital de Elevação (MDE) presente no sensor PALSAR. Portanto, os primeiros esforços da pesquisa, se concentraram na avaliação e realizados testes no referido produto altimétrico o qual se utilizou nesse trabalho.

O MDE do sensor PALSAR, presente no satélite ALOS, passou por testes comparativos com um produto de melhor qualidade de detalhamento, onde foram avaliadas suas potencialidades e fragilidades. Para tanto, o produto utilizado como base de comparação, foi o sensor LiDAR, oriundo de um Levantamento Aerofotogramétrico produzido através de perfilamento a LASER.

Após a comparação, e, posterior validação do MDE do sensor PALSAR, a pesquisa se voltou para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Na referida área de estudo, foi elaborado um mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da superfície. Durante a organização do mesmo, realizou-se a coleta de dados pedológicos e climáticos, para posterior alimentação do modelo SINMAP.

Tendo em mãos os dados necessários para o desenvolvimento do referido modelo, criou-se um mapa contendo a espacialização dos índices de estabilidade das áreas propensas a escorregamentos, que correlacionado com o mapa das classes de Uso, Cobertura e Ocupação, gerou-se como produto final, o zoneamento das áreas propensas ao risco de escorregamentos translacionais rasos.

Contudo, serão expostas as principais características de ambos os materiais utilizados, e na sequência, serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados para a realização da análise comparativa entre os produtos altimétricos, bem como as técnicas e métodos utilizados para se chegar à criação do zoneamento de áreas propensas ao risco de escorregamentos.

5.1 Produto altimétrico do sensor PALSAR.

O sensor PALSAR é um dos 3 (três) sensores presentes no satélite ALOS (Advanced Land Observation Satellite), que lançado em 24/01/2006, pela *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, é considerado um satélite de alta resolução para o fomento de pesquisas e aplicações na área de sensoriamento remoto, que tem parte de seus produtos livre para acesso público de boa parte da superfície do planeta.

O satélite ALOS ficou em órbita até o ano de 2011 coletando dados e informações da superfície terrestre. Produziu uma acervo de imagens com alta qualidade geométrica sem a necessidade de uso de pontos de controle medidos no terreno (BARROS et. al, 2009).

O satélite ALOS é composto por 3 (três) sensores, os quais se destacam: o PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping); o AVNIR-2 (Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2); e PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar). As especificações técnicas de cada sensor podem ser observadas através de IBGE (2006) e IBGE (2008).

O primeiro sensor apresentado, o PRISM obtém imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre; o AVNIR-2 possibilita a aquisição de imagens voltadas para o mapeamento de uso e cobertura das terras; e o sensor PALSAR proporciona a obtenção de imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. Sendo as informações e dados que compõem o sensor PALSAR, de alto detalhamento dentre os produtos de acesso livre, escolheu o produto altimétrico deste para desenvolver a pesquisa em curso.

O sensor PALSAR, é definido como um instrumento totalmente polarimétrico, operando em 4 (quatro) modos diferentes: 1) com polarização simples FBS (Fine Beam Single polarization: HH ou VV); 2) polarização dupla FBD (Fine Beam Dual polarization: HH + HV ou VV + VH); 3) polarização completa POL (HH + HV + VH + VV) e; 4) modo ScanSAR, com polarização única (HH ou VV; 3/4/5-beam) (OLIVEIRA, 2017).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo sensor PALSAR, se dá por meio de um processo de correção radiométrica e geométrica das imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*), pré-processados pela ASF (*Alaska Satellite Facility*) para um formato matricial de quadriculação consistente (GeoTIFF). (LAURENCELLE; LOGAN; GENS, 2015)

Dentre as vantagens como um sensor imageador ativo de alta frequência por micro-ondas, o PALSAR possibilita a aquisição de dados topográficos da superfície terrestre, sem que haja interferências de nuvens e com facilidade em ultrapassar o dossel vegetal (OLIVEIRA, 2017).

Como já destacado por Barros et al (2009), em função do custo-benefício das imagens do satélite ALOS, para a geração de Modelos Digitais de Elevação, por exemplo, a utilização deste produto pode ser de grande valia para a geração de produtos cartográficos, principalmente para áreas onde existem poucas informações cartográficas com detalhes.

O principal produto altimétrico a ser investigado neste trabalho, encontra-se contido na polarização FBD do sensor PALSAR, no formato *grid* contendo uma resolução espacial de 12,5 metros, de um pixel para outro.

Através do site (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>) é possível a aquisição de imagem do satélite ALOS de maneira gratuita, após um cadastro gratuito no geoportal de descarregamento de imagens de satélite da Alaska Satellite Facility. As imagens adquiridas no referido site, apresentam resolução espacial de 12,5 metros, para valores altimétricos. Sendo considerado o produto livre com maior nível de detalhamento existente até hoje.

5.2 Produto altimétrico do sensor LIDAR.

O produto originário do sensor LiDAR, refere-se a um Mapeamento Digital realizado pela Prefeitura de Juiz de Fora, entre os meses de junho a setembro de 2007, que por meio de cobertura aerofotogramétrica e perfilamento a LASER aerotransportado, foi possível adquirir imagens e curvas de nível da superfície do município, respectivamente, com altos níveis de detalhamento.

Segundo informações retiradas do site da instituição, os levantamentos aerofotogramétricos recobrem todo o município de Juiz de Fora, contemplando assim sua área urbana e também a zona rural.

Pelo fato do perfilamento a LASER aerotransportado adotado no referido mapeamento, contar com uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz refletida, este ficou denominado de LiDAR (da sigla inglesa Light Detection And Ranging).

Tal perfilamento foi utilizado por meio do sensor LASER LEICA ALS-50 PHASE II de 150 khz, composto por um escaner a LASER infravermelho, um sistema de referência inercial (IMU) e um receptor GPS. Seu funcionamento se dá com o direcionamento do LASER para o solo, fazendo assim uma varredura transversal à linha de vôo, onde reflexos dos pulsos no solo ou em objetos na superfície são coletados pelo receptor e convertidos em sinal eletrônico. As distâncias de cada pulso são determinadas pelo tempo gasto para o feixe sair do receptor e refletir no solo, sendo esses registrados no sistema contendo suas coordenadas calculadas através dos dados do sistema inercial e do GPS (PJF, 2007).

Tal sistema de coleta de pontos por reflexão de pulsos permite a distinção de objetos acima do solo, tais como edificações, vegetação, postes e outros.

Diante da nuvem de pontos resultantes do processamento a LASER, teve-se inicialmente um MDS (Modelo Digital da Superfície) que abrangia a totalidade de pontos

levantados, inclusive com os objetos constantes na superfície do terreno. Após ser submetido a filtros para depuração, foi extraído de tal MDS, um conjunto de pontos que caracterizam a superfície, excluindo os pontos situados em outras feições como edificações, vegetação e outros (PJF, 2007).

Com o MDE definido, gerou-se automaticamente as curvas de nível com equidistância de 1 metro para toda área urbana de Juiz de Fora, as quais foram utilizadas como base comparativa, para saber se o produto do sensor PALSAR apresenta confiabilidade para ser utilizado em áreas com carência de dados topográficos.

Para a zona rural do município as curvas foram geradas com equidistância de 5 metros, a partir da correlação digital das imagens da cobertura aerofotogramétrica.

Vale aqui destacar, que o modelo de elevação do sensor LiDAR, foi disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, sendo este cedido pela Defesa Civil de Juiz de Fora.

5.3 Procedimentos Metodológicos.

Por ser um trabalho pioneiro referente à temática de zoneamento de risco na área de estudo escolhida, a pesquisa se desenvolveu de maneira direta, se propondo a investigar e analisar os assuntos prescritos dentro dos objetivos específicos. Assim, a parte condizente as diligências estabelecidas para realizar tal estudo, foi dividida em 4 (quatro) etapas, a se destacar:

1ª ETAPA: Analisou-se comparativamente e estatisticamente os resultados oriundos da aplicação do modelo SINMAP, a partir da utilização dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) proveniente do sensor LiDAR e outro do sensor PALSAR (satélite ALOS), ambos com a mesma resolução espacial de 12,5 metros, a fim de avaliar se o produto altimétrico do sensor PALSAR, apresenta uma resposta satisfatória e aceitável para a identificação de estabilidade de encostas.

O estudo se justifica em virtude da carência de dados topográficos com alta resolução para a maioria dos municípios brasileiros, inclusive para a realização de trabalhos que visam identificar áreas propensas a escorregamento, por exemplo.

Dá o interesse em avaliar produtos gratuitos, pois existindo uma viabilidade para sua utilização, os mesmos podem vir a suprir de maneira suficiente e tolerável a inexistência de levantamentos topográficos com detalhes para grande parte dos municípios brasileiros.

Carência de dados, que em grande parte dos municípios brasileiros, está atrelada aos altos custos para a realização de levantamentos de dados para tal natureza.

Para tanto, a comparação se deu entre os valores altimétricos cotados pelo sensor PALSAR, e os valores resultantes do sensor LiDAR, em uma área onde foi possível ter o registro e a representação de ambos os produtos.

Devido ao detalhamento mais apurado, o produto altimétrico do sensor LiDAR, foi utilizado como a base comparativa nessa etapa da pesquisa, com o propósito de avaliar o produto altimétrico do sensor PALSAR.

Para isto, o primeiro procedimento adotado foi realizar a escolha de uma área que estivesse situada no espaço urbano da cidade de Juiz de Fora, e, portanto, dispusesse das curvas de nível com equidistância de 1 metro. Nesse caso, escolheu-se a Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera (BHCT) para realizar tal comparação, Figura 37.

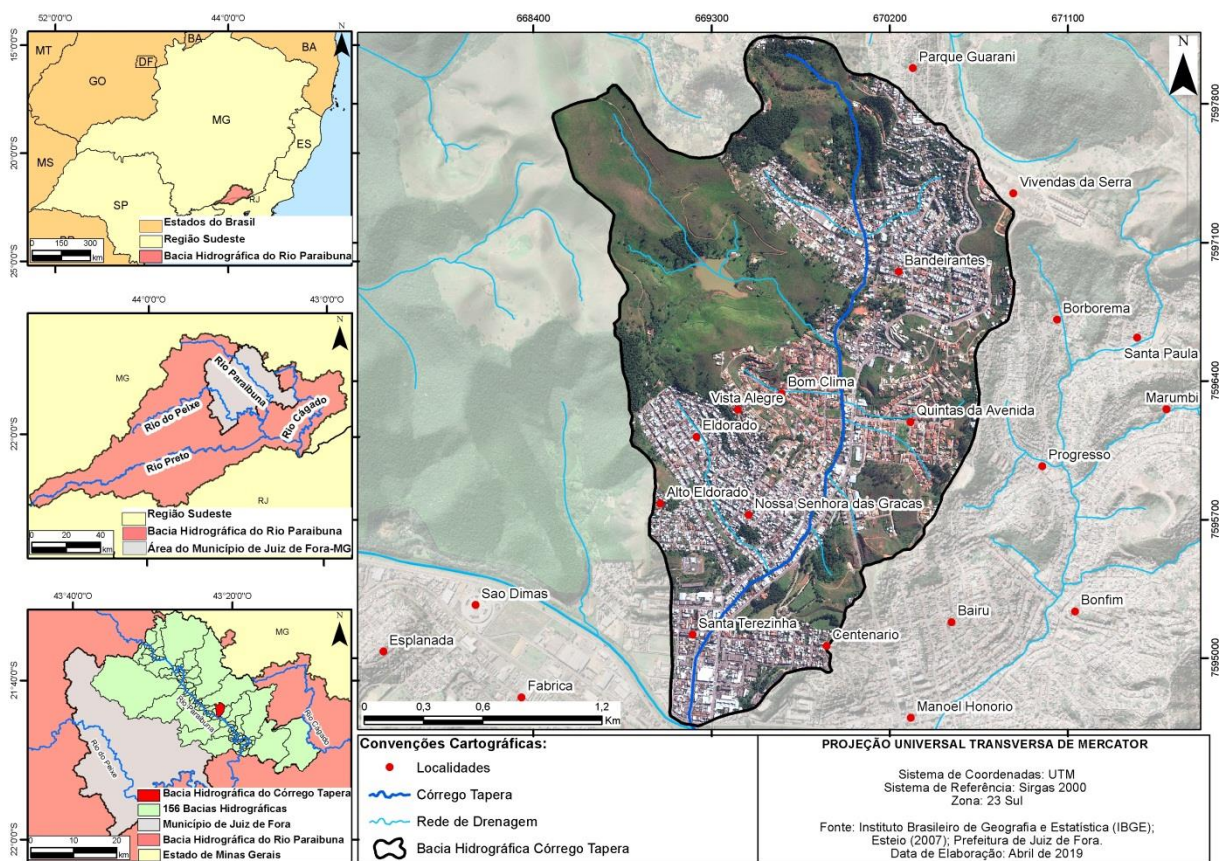


Figura 37: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera em Juiz de Fora, no âmbito regional e local. Fonte: Costa (2016a).

A escolha de tal área, além de sua localização, se deu também pelo fato de já terem sido desenvolvidos na área da referida Bacia Hidrográfica, trabalhos e pesquisas que discutem a temática de probabilidade e risco a escorregamento (COSTA, 2016a; FERNANDES, 2016). Costa (2016a) inclusive com a aplicação do modelo SINMAP para a predição de áreas com

propensão a ocorrência de escorregamentos translacionais rasos, o mesmo modelo adotado nessa pesquisa.

Neste caso, como o interesse futuro da avaliação do produto altimétrico do sensor PALSAR, será para sua utilização em estudos referentes a escorregamentos em localidades com carência de dados, comparar seus resultados em uma área onde já foram desenvolvidos, estudos relacionados a tal temática, auxiliam e se tornam fundamentais para a análise comparativa que aqui se propõe.

Para realizar a comparação, por meio da aplicação do modelo SINMAP, e subsequentemente ter uma análise confiável de seus resultados, criou-se dois Modelos Digitais de Elevação, um proveniente do sensor LiDAR e outro do sensor PALSAR, com a mesma resolução espacial, para que fosse possível quantificar de maneira fidedigna, os pixels dos produtos gerados pela aplicação do modelo, para ambos os sensores.

Para tanto, realizou-se uma interpolação das curvas de nível com equidistância de 1m do LiDAR, onde foi adotado como resolução espacial de saída o valor de 12,5 metros. Neste caso, utilizou-se a ferramenta “*Topo to Raster*”, disponível: “*ArcToolBox -> Spatial Analyst Tools -> Interpolation*”. Observa-se que a escolha da resolução de saída se deu para que os dois MDE ficassem com a mesma resolução para haver base de comparação.

Com ambos MDE estando com o mesmo tamanho de pixel, foi realizado então o georreferenciamento do MDE proveniente do sensor PALSAR. Com o auxílio da rede de drenagem e o limite da BHCT, deslocou-se a cena do sensor PALSAR, buscando assim estabelecer uma equidade e sobreposição entre os MDE no que se refere à área estudada.

Após esses procedimentos, foi feito o recorte em cada uma das cenas, tendo como referência o limite da bacia hidrográfica estudada, extraíndo assim o mesmo número de colunas, linhas e pixels para ambos os MDE. Tal técnica foi aplicada no intuito de se estabelecer uma semelhança na quantidade de pixel entre os *rasters*, que foram posteriormente utilizados para a alimentação do modelo. Neste caso, os pixels do produto do sensor PALSAR, ficaram exatamente sobre os pixels do sensor LiDAR, fato este que possibilitou a extração de duas matrizes quantitativamente idênticas. Este processo se fez necessário, principalmente, para a análise estatística de quantificação e mensuração do produto do sensor PALSAR.

Como o interesse nessa primeira etapa, está pautado na comparação dos dois produtos altimétricos distintos, baseando-se na aplicação do modelo SINMAP para mapeamento de índices de estabilidade de encostas, para a BHCT, assumiu-se para os parâmetros ligados à

pedologia e ao clima como sendo iguais, mudando somente a estrutura de entrada dos dados topográficos para a área, durante a execução do modelo.

Assim, para os parâmetros utilizados para o cálculo do Índice de Estabilidade (SI) necessários para a alimentação e calibração do modelo, dentre eles, os pedológicos e os climáticos, adotou-se os valores utilizados por Costa (2016a), em seu trabalho de conclusão de curso, também desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera, Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros de entrada para simulação do modelo SINMAP, na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera (BHCT). Fonte: adaptado de Costa (2016a)

Parâmetros do SINMAP	Valores		Referências Utilizadas
Linha de umidade do AS Plot (%)	20		Costa (2016)
Número de Pontos no AS Plot (%)	1000		Costa (2016)
Densidade da Água (Kg/m ³)	1000		Constante Universal
Ângulo de Atrito Interno do Solo (°)	Mínimo	Máximo	Fonseca <i>et al.</i> (2016)
	29	33	
C = Coesão Admissional (CXbd)	Mínimo	Máximo	Fonseca <i>et al.</i> (2016)
	0,143	0,714	
C = Coesão Admissional (LVAd)	Mínimo	Máximo	Rocha <i>et al.</i> (2002) apud Pechincha (2014)
	0,54	0,57	
ps = densidade do solo (kg/m ³)	1400 (Valor Médio)		Fonseca <i>et al.</i> (2016); Rocha <i>et al.</i> (2002) apud Pechincha (2014); Silva (2013)
g = aceleração da gravidade	9,81		Constante Universal
T/R (m) (CXbd)	Mínimo	Máximo	Fonseca <i>et al</i> (2016); INMET (2014)
	1,5	350	
T/R (m) (LVAd)	Mínimo	Máximo	Pechincha (2014); INMET (2013)
	52	303	

Como se observa na descrição dos parâmetros apresentados e na descrição de seu trabalho, Costa (2016a) definiu os mesmos de acordo com dois tipos de solos diferentes, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) e Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico (CXbd), os quais segundo o autor, predominam nas encostas presentes na BHCT.

Com a entrada dos parâmetros topográficos no modelo SINMAP, provenientes do sensor LiDAR e do sensor PALSAR, correlacionados aos parâmetros pedológicos e

climáticos expostos na tabela 7, foram gerados 3 (três) produtos cartográficos, sendo eles: 1) Saturação do Solo; 2) Declividade e 3) Estabilidade de Encosta.

Tanto os MDE, quanto os demais produtos gerados na execução do modelo, informações armazenadas no software de geoprocessamento, bem como as representações gráficas de estruturas de dados matriciais passaram por um tratamento especial para que pudesse ser manipulados e tratados a partir de parâmetros estatísticos.

Dessa forma, através do *software* de programação MathLab-R2015a, empreendeu-se o processo de conversão de todos materiais gráficos gerados pelo modelo como estrutura de dados matriciais, para matrizes simples com valores numéricos, no qual a posição e área na célula a_{ij} da matriz dos produtos gerados através do sensor LIDAR, correspondem a mesma área e posição dos dados obtidos pelo instrumento PALSAR na célula de posição a_{ij} .

Para verificar essa semelhança (homogeneidade) na quantidade de *pixels* entre ambos os produtos buscou-se aplicar um conjunto de técnicas estatísticas para validação dos dados do PALSAR. Inicialmente, o resultado dos dados do PALSAR foi comparado com os dados do LiDAR por meio da aplicação dos Coeficientes de determinação (R^2) e de Correlação de Pearson (r).

O Coeficiente de Determinação (Eq. 1) consiste na razão entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados total, variando entre 0 (zero) e 1 (um). Quanto mais próximo a 1, mais explicativo é o modelo e melhor é o ajuste dos dados da amostra (SPIEGEL, 1993).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad (\text{Eq.2})$$

O Coeficiente da Correlação de Pearson (Eq 2) é usado para analisar o desempenho dos métodos de interpolação, caracterizando-se por *Muito Forte* (com r entre 0,90 e 1,0), *Forte* (com r entre 0,70 a 0,89), *Moderado* (com r entre 0,50 até 0,69) e *Fraco* (com r entre 0,30 e 0,49) e Desprezível (com r entre 0 e 0,29).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Tanto na Eq.1 como na Eq. 2, n é o número de observações, x_i e y_i correspondem aos valores de ambos os conjuntos de dados (PALSAR e LiDAR) e, \bar{x} e \bar{y} suas respectivas médias.

O passo seguinte consistiu em aplicar estatísticas de erro usadas para representar as diferenças entre os valores estimados para o PALSAR a partir do LiDAR. Foram aplicados o Erro Médio Absoluto (EMA), o Erro Relativo Médio (ERM) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) de acordo com as obras de Alencar *et al.* (2011), Hallak e Pereira Filho (2011), Santos *et al.* (2011), Anjos *et al.* (2017) e Saraiva *et al.* (2017).

O EMA (Eq.3) é o primeiro momento da distribuição das diferenças. Consiste na diferença entre o valor observado (LiDAR) e o valor estimado (PALSAR), indicando que, quanto menor for o seu valor (valor de EMA), mais próximo o valor estimado é o valor observado.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (\text{Eq. 4})$$

Na Eq.3, n consiste no número de amostras, x_i o valor do estimador (PALSAR) e \bar{x} a média dos valores de todas as amostras (LiDAR).

O ERM (Eq.4) indica a magnitude média do erro estimado com os melhores valores, aqueles mais próximos de zero (0). Na Eq.4, n corresponde ao número de amostras, x_i é o valor fornecido pelo estimador (PALSAR) para a i -ésima amostra, \bar{x} é a média dos valores de todas as amostras estimadas (PALSAR), e \hat{x}_i é o valor correto que deve ser fornecido pelo classificador (LiDAR), para a amostra em questão.

$$ERM = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i|}{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|} \quad (\text{Eq. 5})$$

Por fim, o REQM (Eq.5) fornece informação sobre o grau de espalhamento dos dados estimados (PALSAR) comparados aos dados do classificador (LiDAR), onde n corresponde ao número de amostras, x_i é o valor fornecido pelo estimador (PALSAR) e \bar{x} a média dos valores de toda as amostras do classificador (LiDAR).

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 6})$$

2ª ETAPA: Elaborou-se um mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície, utilizando-se do pacote de imagens de satélite do *Basemap* presente no *software ArcGis*, obtidas em 13/05/2017, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques (BHRH) e do Ribeirão

dos Palmares (BHRP), localizadas no município de São João Nepomuceno-MG. Tal produto foi utilizado para destacar locais de risco a escorregamentos, a partir de sua correlação com mapeamento de índices de estabilidade.

Nessa etapa, criou-se um *shapefile* para a vetorização das classes de uso, cobertura e ocupação da superfície das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares (Figura 15). Tal vetorização se deu de maneira manual no *software ArcGIS*, através da ferramenta “*create features->polygon*”.

Pelo fato do trabalho ter sido realizado em uma área de 10,15 km², optou-se pela classificação visual, por meio de vetorização manual, com o intuito de evitar ao máximo a sobreposição e/ou a extrapolação entre as classes de usos existentes, buscando consequentemente, uma maior fidedignidade na delimitação das classes, além de um maior detalhamento e um menor erro na demarcação dessas.

A definição das classes de uso, cobertura e ocupação da superfície se deu por meio da interpretação de imagens de satélite do *World Imagery Basemap* presente no *software ArcGIS*, motivado principalmente por ser um serviço de mapas gratuito para os usuários do *ArcGIS*, e por seu conteúdo apresentar imagens atualizadas de alta qualidade da superfície terrestre, destacando-se como um dos serviços de base de mapas gratuitos e disponíveis para pesquisas acadêmicas.

Pelo fato da área estudada ser pequena, foi adotado uma escala de 1:10.000, como a maior escala de observação para a definição e identificação das classes. Nesse caso, foram identificadas 8 (oito) classes de uso, cobertura e ocupação para a área estudada, sendo elas: 1) Área de Cultivo; 2) Área Urbanizada; 3) Área de Expansão Urbana; 4) Capoeira; 5) Corpos d'água; 6) Mata; 7) Pastagem e; 8) Solo Exposto.

3ª ETAPA: Aplicação da modelagem de estabilidade, a partir da utilização do modelo SINMAP, para a geração e delimitação dos índices de estabilidade das áreas propensas a escorregamentos, tendo como base a utilização de alguns fatores geoambientais (parâmetros dos solos, declividade, pluviosidade) da área condizente às Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Esta etapa consistiu na aplicação do modelo SINMAP voltado para a identificação de índices de estabilidade para a área *core* dessa pesquisa, a partir da utilização do Modelo Digital de Elevação proveniente do sensor PALSAR e dos parâmetros pedológicos e climáticos, levantados dentro da área investigada.

No que se refere ao produto altimétrico de entrada, para se gerar a variação espacial da declividade e do índice geomorfológico, conforme aponta Pack *et al.* (2005), este foi originário do produto altimétrico do sensor PALSAR.

Assim como desenvolvido na 1ª Etapa, da metodologia, não houve alteração e/ou edição no produto altimétrico proveniente do sensor PALSAR. Neste caso, adotou-se a resolução espacial de 12,5 metros existente no produto altimétrico, como sendo a resolução de saída para o mapa de índices de estabilidade da área de estudo.

Portanto, fez-se o *download* da cena que contempla-se a área estudada, em seguida adicionou o arquivo em formato *grid* no *software ArcGIS*. A partir de então, foi feito o procedimento de georreferenciamento do MDE proveniente do sensor PALSAR. Com o auxílio da rede de drenagem, topos de morros e limite das BHRH e BHRP, foram inseridos pontos de controle, os quais possibilitaram estabelecer o ajuste necessário, para que as informações contidas dentro do limite da área de estudo, fossem autênticas e condizentes com a realidade. Contudo, após o georreferenciamento, foi processado então o recorte do produto altimétrico do sensor PALSAR, a partir do limite das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.

Tal produto foi responsável por assumir e definir os parâmetros referentes à variação da declividade e dos índices geomorfológicos, necessários para o desenvolvimento do modelo.

No que se refere à aquisição dos parâmetros relativos à pedologia (1-Ângulo de atrito interno, 2-Coeficiente adimensional, 3-Densidade e 4-Razão entre a Transmissividade e a Taxa de Recarga Efetiva do Solo), foram utilizados métodos para determinar a escolha dos locais de coleta, levando em consideração à variabilidade espacial na área estudada, os tipos de solos existentes (Figura 22), bem como a litologia presente na área estudada (Figura 21).

Para a obtenção dos parâmetros pedológicos, após o estudo e caracterização da área em gabinete, foram realizadas então incursões a campo para a coleta e armazenamento de material, os quais foram transportados para a análise e diagnóstico em laboratório.

As coletas dos solos, propriamente dita, foram realizadas em duas etapas. A primeira compreendeu no recolhimento de amostras de solos deformadas, as quais foram utilizadas para a caracterização e identificação dos tipos de solos existentes em cada ponto de análise. Já a segunda coleta abarcou amostras de solos indeformados, onde se preservou a estrutura dos solos analisados, para a obtenção dos parâmetros pedológicos a serem utilizados no modelo SINMAP.

Os critérios para a escolha destes pontos se deram a partir:

- 1º) da definição pedológica presente na área estudada;
- 2º) da observação e análise da litologia;
- 3º) de localidades onde já houve escorregamentos, com o interesse para locais que apresentassem ínfima influência da ação antrópica; e
- 4º) de locais que possibilitassem a acessibilidade para a coleta das amostras de interesse.

Tanto para a coleta das amostras deformadas, quanto para as indeformadas, foram escolhidos 2 (dois) pontos de análise dentro da área de estudo (Figura 38). O primeiro, localizado às margens da rodovia MG-126, entre os municípios de São João Nepomuceno e Rochedo de Minas, mas precisamente próximo ao Trevo de acesso aos distritos de Roça Grande e Taruaçu. Já o segundo ponto de coleta, encontra-se situado na Rua Coronel Ricardo Martins, mais próximo ao exutório das bacias.

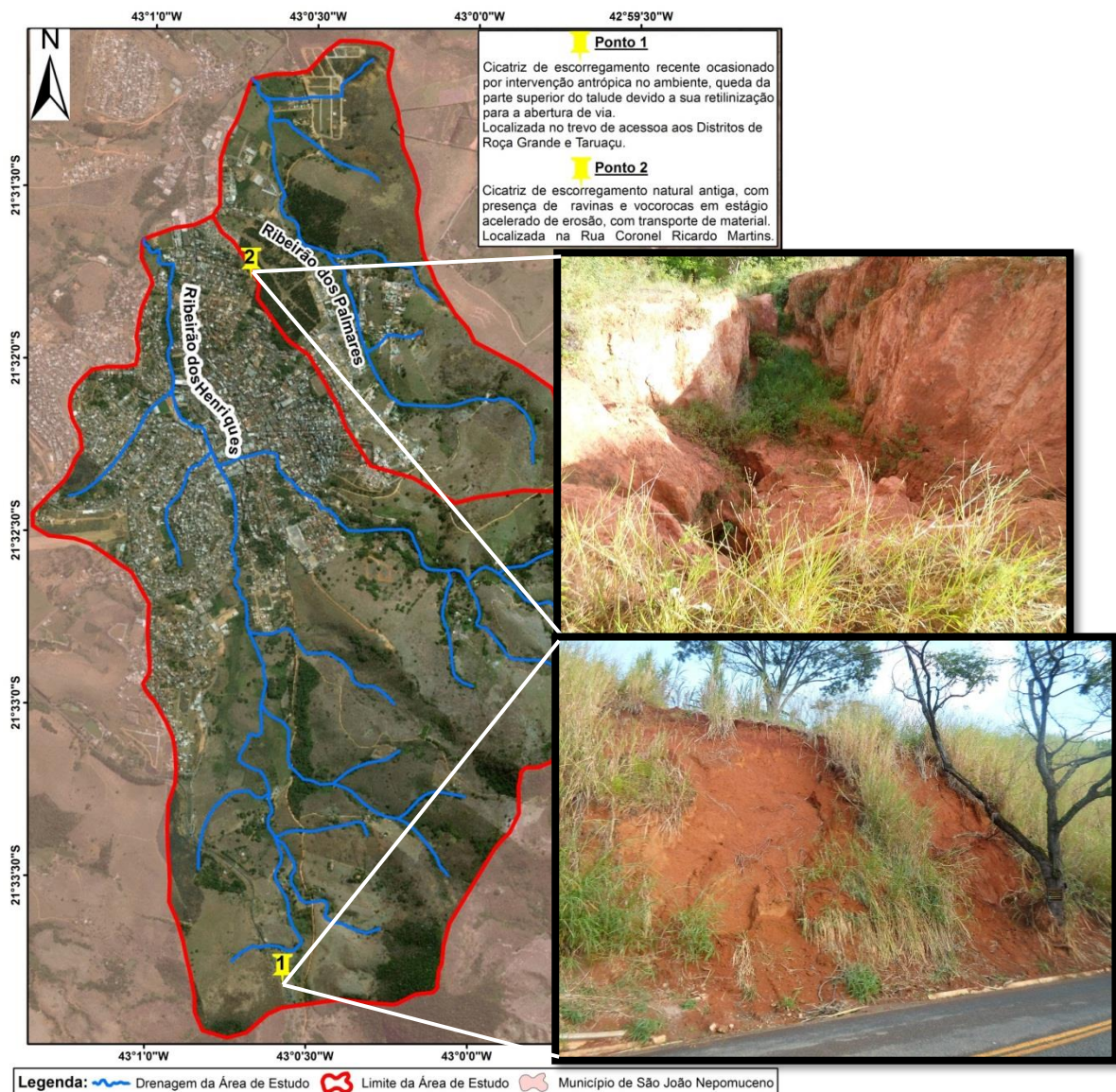


Figura 38: Localização e caracterização dos pontos de coleta de solos, dentro do limite das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e dos Ribeirão dos Palmares.

Em um primeiro momento, tomando como base a pedologia existente na área, como apresentado na Figura 22, a mesma encontra-se dividida em 2 (dois) diferentes tipos, definidos segundo UFV *et al.* (2010), como:

1) LVAd63 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (60 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (20 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa/muita argilosa relevo forte ondulado (20 %), ambos A moderada. (UFV *et al.*, 2010, p.18)

2) LVAd71 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (40 %) + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutrófico típico textura média relevo montanhoso e escarpado (20 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico textura argilosa relevo forte ondulado (20 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média/argilosa (20 %) todos A moderado. (UFV *et al.*, 2010, p.19).

Neste caso, levando em consideração a pedologia encontrada na área, optou-se por fazer a coleta de 1 (uma) amostra para cada tipo de classes de solos identificadas conforme o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV *et al.*, 2010).

Considerando agora, a litologia presente na área (Figura 21), a qual se encontra distribuída por 4 (quatro) litotipos diferentes, a se destacar: 1- Pjf (Ortogranulito enderbítico a charnockítico, com tipos gabróticos subordinados); 2- Na6 (Sillimanita-granada-biotita gnaisse, rocha calcissilicática, anfíbolito e gondito); 3- Cfc (Sedimentos fluviais e colúviais Cenozóicos) e; 4- Ngama 2+3 – Granada charnokito foliados.

Os pontos de coleta encontram-se situados sobre o litotipo Pjf (conhecido também por Complexo Juiz de Fora), justificado pelo predomínio deste na área de estudo, somado à existência de 70% das cicatrizes mapeadas, estando localizadas sobre o tal domínio litológico.

A inexistência de pontos de coleta nas demais litologias existentes na área é explicada pelo baixo número de ocorrência de deslizamentos em ambos. No litotipo Cfc, por exemplo, foi possível o registro de somente 1 (uma) ocorrência, estando este inclusive relacionado à áreas mais rebaixadas e planas, fato que justifica o moderado número de eventos. Já no litotipo Na6, somado à baixa quantidade de ocorrência, 3 (três) registros, a ausência de pontos de coleta, também se fundamenta pela presença de processos urbanos e atividades humanas constantes, próximos a esses pontos de escorregamentos, fato este que promove recorrentes alterações nos parâmetros pedológicos destes ambientes. E no Ngama 2+3, apesar de representar uma área pequena dentro do limite da bacia, o mesmo não apresentou nenhum registro de ocorrências de deslizamentos.

Definidos e justificados os pontos de coleta dos solos, os procedimentos utilizados para a aquisição destes, encontram-se divididos em dois momentos, sendo expostas no

primeiro momento as técnicas usadas no recolhimento dos solos deformados, e posteriormente, os métodos de coleta empregados para a aquisição dos materiais de maneira indeformada.

Para a obtenção de ambos os materiais, adaptou-se e adequou-se às normas técnicas definidas pela NBR 9604, NBR 6457 e DNER-PRO 003/94.

A obtenção dos parâmetros físicos, por meio do recolhimento das **Amostras Deformadas**²⁶, se deu basicamente em 3 (três) passos, a se destacar:

1º Passo: Limpeza do terreno e coleta das amostras.

Nesta fase, após a escolha dos horizontes os quais foram feitas as coletas de solos, houve então a limpeza destes perfis. Tal procedimento se deu através da raspagem dos horizontes, utilizando-se como material uma enxada, ficando o local para a coleta como exemplificado nas Figuras 39 e 40.

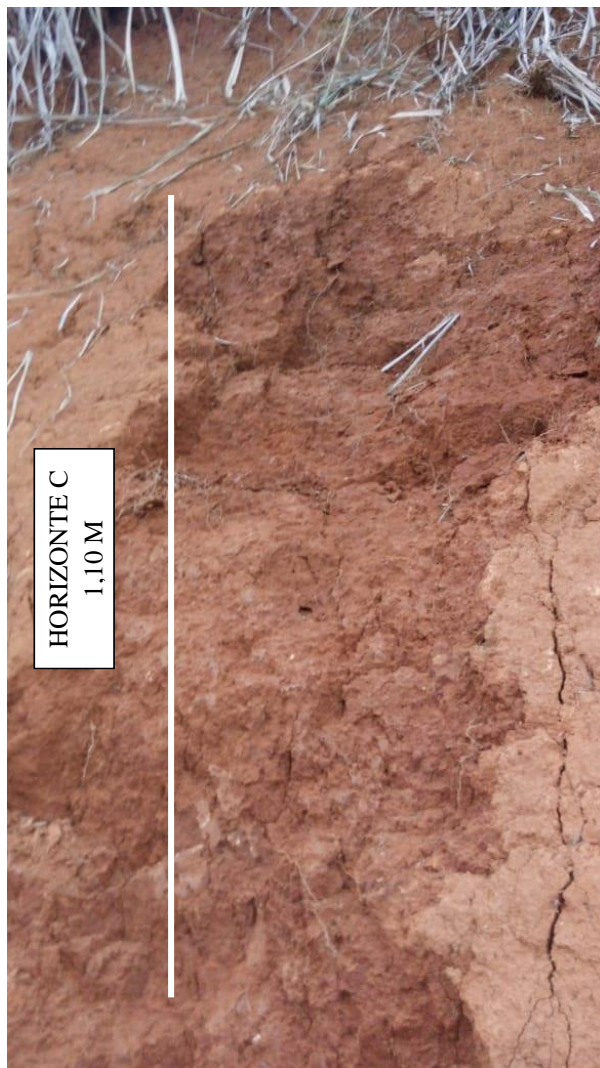


Figura 39: Horizonte de coleta do Ponto 1.

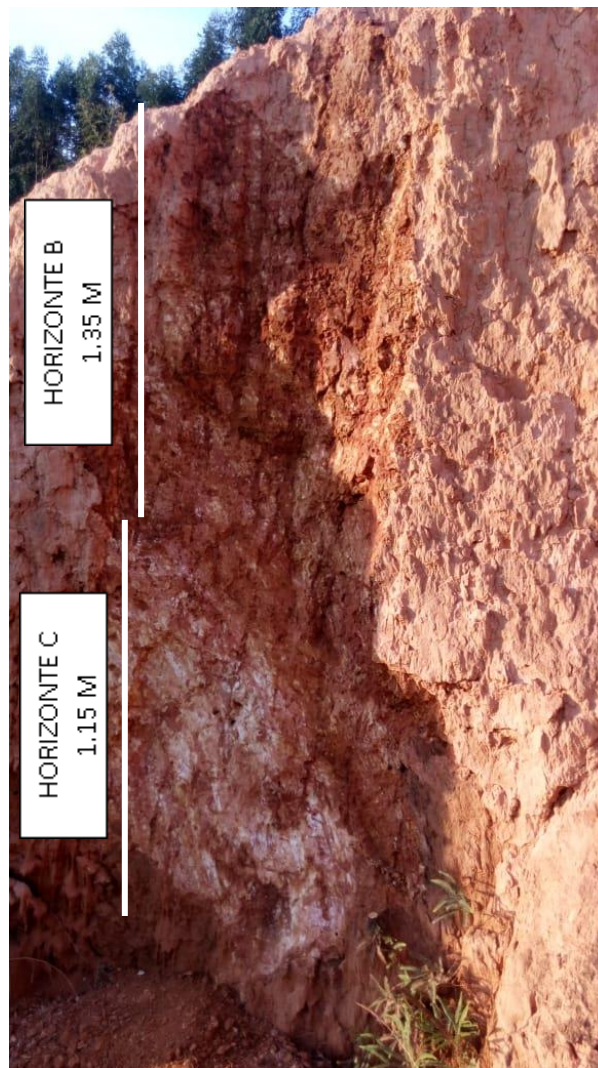


Figura 40: Horizontes de coleta do Ponto 2.

²⁶ Define-se como amostras deformadas “aquelas onde há a destruição da estrutura na operação de coleta, embora mantidas as dimensões e proporções de seus constituintes.” (DNER-PRO 003/94)

Na sequência, foram realizadas as coletas de solos conforme os horizontes identificados em campo. Perante a variação nas camadas existentes, nos pontos escolhidos, foram feitas a aquisição de 3 (três) amostras, uma no Ponto 1 e duas no Ponto 2, como evidenciado nas figuras anteriores.

O mecanismo de coleta se deu a partir da raspagem dos horizontes, com o auxílio de uma enxada e de uma faca, e posterior recolhimento do material, onde foi apanhado aproximadamente 3 (três) quilogramas de solo para cada horizonte.

Os solos foram então colocados em sacos plásticos hermeticamente fechados, para a manutenção da umidade de campo. Os mesmos foram etiquetados para posterior identificação em laboratório, conforme Figura 41.



Figura 41: Sacos plásticos com os solos coletados.

2º Passo: Secagem e Destorroamento das partículas de solos (em laboratório), ao nível de fração fina.

Nesta etapa, já em laboratório, os sacos plásticos contendo os solos foram abertos um por vez, para o procedimento de secagem das amostras ao ar, e posteriormente destorroamento, para a realização dos ensaios de caracterização física.

A partir destes ensaios foi possível definir parâmetros como: 1) Granulometria; 2) Massa Específica dos Sólidos; 3) Limite de consistência (limite de plasticidade e de liquidez), para fins de classificação.

Inicialmente foi feita a exposição do material ao ar, com a disposição dos mesmos em bandejas, para que fosse possível realizar a secagem do material até próximo da umidade higroscópica, Figura 42.



Figura 42: Exemplo de uma das amostras colocada para a secagem higroscópica.

Após o procedimento de secagem, foi realizado então o destorroamento dos solos, com o intuito de desmanchar os torrões, evitando-se a quebra de grãos, e homogeneizar as amostras ao nível de fração fina.

Tal mecanismo foi realizado de maneira manual, através da utilização de um Almorafiz e uma Mão de Gral, de acordo com as normas da NBR 6457, como ilustrado na Figura 43.



Figura 43: Almorafiz e Mão de Gral, utilizados para o destorroamento dos solos.

3º Passo: Caracterização Física das amostras deformadas.

Após as etapas de secagem ao ar e destorroamento, foi realizado nesta fase, a pesagem da massa total e a determinação da umidade higroscópica. Em ambas as etapas, os procedimentos foram realizados no Laboratório de Física dos Solos, da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, coordenado pela Professora Dra. Tatiana Tavares Rodriguez.

A obtenção da curva granulométrica se deu por meio de ensaios de análise granulométrica, composta por peneiramento grosso, sedimentação e peneiramento fino. Seguindo os procedimentos de acordo com a ME 051 do DNER (1994b).

Nesta etapa, houve também ensaios para a obtenção da massa específica dos sólidos com base na ME 093 do DNER (1994c). Ressalta-se o uso de picnômetros de 250 ml e 500 ml, preenchidos com cerca de 50 g e 70 g, respectivamente. Vale ressaltar, que o tempo de fervura adotado foi maior que 15 minutos para garantir a expulsão do ar existente entre as partículas de solo, bem como um tempo de banho para equilíbrio de 24 horas.

Por fim, realizou-se ensaios para a obtenção dos limites de plasticidade e liquidez, com base na ME 082 do DNER (1994d) e na ME 122 do DNER (1994e), respectivamente.

Após a realização dos ensaios provenientes das amostras deformadas, foram realizados procedimentos para a aquisição de parâmetros ligados a resistência dos solos, por meio de ensaios de cisalhamento direto, a partir da aquisição de **Amostras Indeformadas**²⁷. Neste caso, as metodologias adotadas para se chegar a tais valores, cumpriram 3 (três) passos, os quais se destacam:

1º Passo: Limpeza e alinhamento do terreno para a coleta.

Para a aquisição das amostras indeformadas, levou-se para campo como materiais, 1 (uma) enxada para o corte e limpeza do talude, 2 (duas) facas para desbaste e lapidação durante a cravação dos cilindros de coleta, 1 (uma) colher para retirada do material aparado, 6 (seis) cilindros de PVC com 15 (quinze) centímetros de altura e 12 (doze) centímetros de diâmetro, 1 (um) pote de vaselina industrial para unção dos cilindros de coleta e 2 (dois) rolos de plástico filme para o envelopamento dos cilindros com os solos coletados, conforme ilustrado na Figura 44.

²⁷ Define-se como amostras indeformadas “aquelas extraídas com o mínimo de perturbação possível, de modo a preservar suas estruturas o condições de umidade, compacidade e consistência naturais.” (DNER-PRO 003/94)



Figura 44: Materiais utilizados para a coleta de amostras indeformadas (Fonte: próprio autor e imagens da internet)

Esta primeira etapa constituiu-se na coleta de 2 (dois) cilindros de PVC por horizontes diferentes identificados em cada um dos dois pontos de coleta.

Neste caso, no Ponto 1 localizado às margens da rodovia MG-126, foram coletados 2 (dois) cilindros, estes relativos ao Horizonte C. Enquanto que no Ponto 2, situado na Rua Coronel Ricardo Martins, foram coletados 4 (quatro) cilindros, 2 (dois) para o Horizonte B e 2 (dois) para o Horizonte C, conforme exposto nas Figuras 39 e 40.

Para a coleta, fez inicialmente a limpeza do talude escolhido utilizando-se a enxada. Posteriormente com a faca realizou-se o alinhamento e a correção da base para o apoio do Cilindro de coleta (Figura 45).



Figura 45: Alinhamento da superfície para a coleta de solo por meio dos cilindros (Fonte: próprio autor).

Com o Cilindro de PVC apoiado sobre o local de coleta, e untado com vaselina, iniciou-se então o processo de cravação do mesmo. Usando uma das facas, foi realizado paulatinamente o desbastamento do entorno do cilindro (Figura 46), tomando o cuidado para que o mesmo não quebrasse durante o processo.



Figura 46: Processo de cravação dos cilindros, durante a coleta das amostras indeformadas (Fonte: próprio autor)

Após o preenchimento por completo do cilindro, com o material pedológico coletado, realizou em todos os pontos de coleta, imediatamente a identificação e o envelopamento do material, evitando assim que este sofresse alterações em sua estrutura e em suas condições de umidade.

2º Passo: Extração dos solos dos Cilindros de PVC (em laboratório), e preparação para os testes de cisalhamento.

A segunda etapa se concentrou na preparação do material pedologia, para o início dos testes de cisalhamento direto, estes relacionados à aquisição de parâmetros de resistência. Esta etapa foi construída inteiramente em laboratório.

Aqui, os cilindros provenientes do campo, foram levados a laboratório para extração de corpos de provas. Deles foram extraídos anéis de 2,3 centímetros de altura e 6 centímetros de diâmetro, com o auxílio de um extrator de solos. Tal procedimento foi realizado para atender as necessidades dimensionais do equipamento responsável pela leitura e conversão durante os ensaios de cisalhamento direto.

Assim como no campo, após a extração de cada um dos corpos de prova, os mesmos eram envolvidos com plástico filme, até serem colocados na máquina para realização dos ensaios.

3º Passo: Procedimentos e ensaios para a obtenção dos parâmetros de resistência.

Os ensaios de cisalhamento direto foram executados com base na D3080 da ASTM (1998).

O procedimento foi realizado em condição embebida e consistiu em três etapas: saturação, adensamento e cisalhamento. Para garantir a eficiência dos processos, foi considerado um tempo de cerca de 24 horas para as etapas de saturação e adensamento. As tensões adotadas foram de 12,5, 25 e 50 kPa. A escolha das tensões está relacionada à compatibilidade com as tensões encontradas em campo.

As forças tangenciais e os deslocamentos foram registrados por extensômetros do aparelho de cisalhamento e a coleta dos dados foi feita pelo software CDREV, desenvolvido pelo Engenheiro Ricardo Gil, da COPPE/UFRJ. As constantes de conversão usadas foram: 1,16 mm/V para deslocamento vertical, 2,659 mm/V para deslocamento horizontal e 2,188 kN/V para o anel de carga.

O aparelho utilizado para a realização dos ensaios encontra-se ilustrado na Figura 47.



Figura 47: Equipamento utilizado para realização dos ensaios de Cisalhamento (Fonte: próprio autor)

Ao término dos procedimentos concernentes tanto às coletas de solos deformados, quanto de solos indeformados, obteve-se a título de explicação os seguintes resultados (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8: Índices Físicos obtidos a partir das amostras de solos deformadas.

		Composição Granulométrica			Limite de	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade	Massa Específica
		Argila	Silte	Areia				
Amostras Deformadas	HCP1	76%	8%	16%	77%	Não Plástico	Não Plástico	2,824 g/cm ³
	HBP2	21%	63%	16%	68%	54%	14%	2,633 g/cm ³
	HCP2	24%	63%	13%	64,50%	58%	7%	2,608 g/cm ³

Tabela 9: Parâmetros de Resistência obtidos a partir das amostras de solos indeformadas.

		Intercepto	Ângulo de
		Coesivo	Atrito
Amostras Indeformadas	HCP1	27,2 kPa	27,7°
	HBP2	27,2 kPa	27,7°
	HCP2	13,5 kPa	41,3°

Com base nos valores apresentados nas Tabelas 8 e 9, alguns foram utilizados diretamente como parâmetros de entrada do modelo SINMAP, e outros substituídos em fórmulas matemáticas, para a obtenção de outros indicadores, cuja aquisição se dá de maneira indireta.

No que se refere ao parâmetro climático, o fator precipitação é visto como um dos principais fatores deflagradores dos escorregamentos. Tal índice é usado para o cálculo da Razão entre a Transmissividade e Recarga Efetiva do Solo (T/R). Neste caso, empregou-se o valor de pluviosidade, assim como consta no Plano Municipal de Saneamento Básico de São João Nepomuceno (PMSB, 2014).

Com todos os procedimentos descritos acima realizados, foram obtidos todos os parâmetros e indicadores de entrada, necessários para o desenvolvimento do modelo SINMAP.

Adotou-se como amostras representativas para a área, o HCP1 e HBP2. A escolha do HCP1, relativa ao Horizonte C do Ponto 1, é justificada por ter sido feita somente 1 amostra, proveniente do tipo de escorregamento observado e a profundidade do horizonte. E a preferência pelo HBP2, equivalente ao Horizonte B do Ponto 2, se deu pelo fato de estar mapeando probabilidade de escorregamentos translacionais rasos, o horizonte B, esta mais relacionado a ocorrência destes tipos de eventos.

Na Tabela 10, onde encontram-se expostos todos os valores utilizados para cada um dos parâmetros necessários para o desenvolvimento do modelo.

Tabela 10: Parâmetros de entrada utilizados na aplicação do modelo SINMAP, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Parâmetros do SINMAP	Valores	
Linha de umidade do AS Plot (%)	20	
Número de Pontos no AS Plot (%)	1000	
Densidade da Água (Kg/m ³)	1000	
Ângulo de Atrito Interno do Solo (°) – Ponto 1	Mínimo	Máximo
	25	30
Ângulo de Atrito Interno do Solo (°) – Ponto 2	Mínimo	Máximo
	25	30
C = Coesão Admissional (HCP1)	Mínimo	Máximo
	0,509	0,622
C = Coesão Admissional (HBP2)	Mínimo	Máximo
	0,546	0,667
ρ _s = densidade do solo (kg/m ³) – HCP1	2.824 (Valor Médio)	
ρ _s = densidade do solo (kg/m ³) – HBP2	2.633 (Valor Médio)	
g = aceleração da gravidade	9,81	
T/R (m) HCP1 ²⁸	Mínimo	Máximo
	52	303
T/R (m) HBP2 ²⁸	Mínimo	Máximo
	52	303

Tendo como base os valores apresentados na Tabela 10, correlacionados com o Modelo Digital de Elevação, extraído do sensor PALSAR, com a resolução espacial de 12,5 metros, para o limite as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares. Neste caso, o modelo SINMAP, estruturou sua classificação de probabilidade à ocorrência de escorregamentos, de acordo com valores de índice de estabilidade, representados para cada célula do *raster* gerado.

Os valores referentes a cada uma das 6 (seis) classes definidas pelo modelo, bem como as características de cada uma delas, serão definidas de acordo como consta na Tabela 6, com os índices de estabilidade, variando de 0 (mais instável) a 1 (menos instável).

²⁸ Diante da dificuldade e falta de tempo hábil para realizar os procedimentos para a obtenção da razão entre os valores de transmissividade de água no solo e a recarga de água, e adotou-se os valores utilizados por Pechincha (2014), relativos para os Latossolos Vermelhos-Amarelo para a cidade de Juiz de Fora, por acreditar que tal parâmetro de entrada do modelo SINMAP, tenha um comportamento aproximado em ambas localidades.

Por fim, como método de validação e calibração do modelo utilizado, foi feito um levantamento e, posteriormente, um mapeamento das cicatrizes de escorregamentos presentes dentro da área estudada. Através de tal produto, foi possível observar de forma especializada, as localidades onde já ocorreram escorregamentos, além de ser utilizado como verificador do produto gerado pelo modelo SINMAP, para saber se existe algum tipo de correlação entre as cicatrizes mapeadas, com as áreas consideradas mais instáveis a ocorrência de escorregamentos.

4ª ETAPA: Elaboração do mapa de Zoneamento de Risco a Escorregamentos a partir da sobreposição do mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície com o mapa de estabilidade gerado mediante a aplicação do modelo SINMAP.

Como produto final desta pesquisa, criou-se um mapa de riscos à ocorrência de escorregamentos para a área das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares. Tal mapa foi originário da correlação entre o mapa de uso, cobertura e ocupação da área estudada, com o mapa de índices de estabilidade das áreas propensas a escorregamentos, gerado pelo modelo SINMAP.

Neste caso para este trabalho, o termo Risco, é relativo à probabilidade de ocorrência de eventos por escorregamentos, sejam esses provocados por causas naturais ou impulsionado por ações sociais, que possam trazer algum tipo de prejuízo ou dano à população residente, que se encontra instalada dentro dos limites das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henrique e do Ribeirão dos Palmares.

Neste sentido, para a produção do referido mapa foi utilizado a ferramenta de “sobreposição ponderada” existente no *software* ArcGIS, que possibilita a análise integrada de dados, por meio de valores ponderados e critérios, a se chegar a uma resposta sobre um dado evento geográfico no espaço (ANTONELLO, 2008).

O método da “sobreposição ponderada” permite a atribuição de pesos para cada um dos mapas justapostos, desde que o somatório de seus pesos não ultrapasse o limite de 100% (cem por cento). Após a distribuição de relevância dos mapas, tem-se a disposição de valores para as classes existentes dentro de cada mapa. Neste segundo passo, o *software* ArcGIS, disponibiliza as seguintes opções de escalas: 1 a 9, 1 a 5, 1 a 3, -1 a 1, -5 a 5 e -10 a 10.

Diante da necessidade de se atribuir pesos para cada um dos mapas utilizados, definiu-se que o mapa contendo os valores relativos aos índices de estabilidade de áreas propensas a escorregamentos, teria uma influência análoga ao mapa de uso, cobertura e ocupação da

superfície. Neste caso, tanto o mapa condizente aos índices de estabilidade, quanto o mapa de uso, cobertura e ocupação receberam um peso de 50%.

Tal ponderação de peso se justifica, pelo fato dos riscos provenientes de eventos de escorregamentos apresentarem uma dimensão vasta, podendo tais processos serem ocasionados tanto pela associação de atributos físicos ou humanos, quanto pela correlação e interação entre ambos.

Além disso, por este trabalho ter como um de seus objetivos gerais a avaliação e análise de um Modelo Digital de Elevação (MDE) alternativo, proveniente do sensor PALSAR/ALOS, considerou por bem dividir a influência dos produtos gerados a partir do referido MDE, com o mapeamento de uso, cobertura e ocupação foi elaborado, a partir da interpretação de imagens de satélite do *World Imagery Basemap* presente no *software ArcGIS*.

Definidos e justificados os pesos atribuídos para os mapas de índices de estabilidade e uso, cobertura e ocupação, foi então realizado a distribuição de notas para as classes existentes em ambos os produtos cartográficos. Inicialmente definiu-se como escala de valores, a variação de 1 a 9, sendo esta fundamentada pelo número de classes existentes em cada um dos mapas, 6 (seis) para o mapa de índices de estabilidade e 8 (oito) para o mapa de uso, cobertura e ocupação.

A escolha dos valores foi feita em conjunto, pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento Aplicado (LGA-UFJF), e também por meio de consultas na acadêmico-científica, de trabalhos que utilizaram tal procedimento (PECHINCHA, 2014; COSTA 2016a; MENON JUNIOR, 2016; PECHINCHA; ZAIDAN, 2017).

Vale ressaltar que as notas adotadas, foram interpretadas de maneira isolada e individual, sendo considerada a relação e a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado ou não, de acordo com a classe analisada. Com isso, buscou-se uma aplicação integrada entre as classes, proporcionada única e exclusivamente pelo método da “sobreposição ponderada”.

Para a definição das notas correspondentes a cada uma das classes existentes nos mapas sobrepostos partiu-se de alguns princípios e considerações construídas ao longo desta pesquisa, as quais foram julgadas como pertinente para este momento.

O primeiro preceito adotado foi o que “não existe risco zero”, ou seja, nenhuma área ou local está livre de possíveis danos ou impactos que um determinado escorregamento pode provocar.

A segunda teoria que aqui se acha pertinente de ser colocada é que, todo e qualquer evento de escorregamento, só ocorre mediante a inter-relação de variados agentes causadores

deste, partindo desde fatores naturais (solos, geologia, drenagem, chuva, etc.) e até fatores não naturais (intervenções humanas no ambiente, uso e ocupação desordenados, lixo, dentre outros). Portanto, durante a deflagração de um escorregamento, dificilmente será possível apontar única e exclusivamente, somente 1 (um) fator como capaz de fazê-lo acontecer, dada a complexidade observada nestes eventos.

Diante dessas duas concepções, considerou-se ao longo das definições dos valores para cada uma das classes (Tabela 11), atribuir valores as notas tomando como principais fundamentos:

- 1) Risco Sociais – relacionados à perdas e danos a população local, ligados principalmente à probabilidade de ocorrência de mortes, lesões ou agravos à saúde humana, etc.
- 2) Risco Econômico – relacionados à prejuízos financeiros, vinculado a algum tipo investimento ou valor sobre uma área propensa a ocorrência de escorregamento.

Tabela 11: Atribuição de Pesos e Notas para elaboração de um Zoneamento de Risco a Escorregamentos para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

MAPA	PESO	CLASSES	NOTA
Índices de Estabilidade	50%	Instável	9
		Moderadamente Instável	7
		Baixa Instabilidade	5
		Baixa Estabilidade	3
		Moderadamente Estável	2
		Estável	1
Uso, Cobertura e Ocupação da Terra	50%	Área Urbanizada	9
		Expansão Urbana	4
		Solo Exposto	1
		Área Agrícola	3
		Pastagem	2
		Capoeira	1
		Mata	1
		Corpo d'água	1

Com isso, a partir dos critérios adotados, como a escala de análise variou de 1 a 9, as classes estabelecidas tanto no mapa de Índices de Estabilidade, quanto no mapa de Uso, Cobertura e Ocupação, que receberam valores entre 7 e 9, foram consideradas as mais prováveis de serem caracterizadas com um alto grau de risco, notas entre 4 e 6 foram avaliadas classes com um grau de risco intermediário, e por fim, valores igual ou abaixo de 3, foram consideradas categorias de risco baixo.

Nas classes consideradas de alto risco, para o mapa de Índices de Estabilidade destacaram-se as categorias “Instável” (nota 9) e Moderadamente Instável (nota 7). Já no

mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da Terra, a única classe considerada de alto risco a ocorrência de escorregamento foi a Área Urbanizada (nota 9). Entendeu-se a partir de tal panorama que, Áreas Instáveis ou Moderadamente Instáveis, próximas a locais ocupados ou que possam vir a ser ocupados e/ou desprotegidos, podem exercer grande influência na ocorrência de escorregamentos, o que acaba condicionando o risco para à população que se encontra ali instalada.

Destacando as classes consideradas como intermediárias para a deflagração do risco, temos no primeiro produto cartográfico foi considerado unicamente o grupo Baixa Instabilidade (nota 5), e dentro do mapa de Uso, Cobertura e Ocupação, foi definida a camada Expansão Urbana (nota 4). Vale ressaltar que, mediante as notas adotadas para as classes apresentadas, a definição se a área onde estas encontram especializadas será considerada ou não como de risco, dependerá da correlação destas, com as classes a elas sobrepostas.

Neste caso, se a analogia for com uma classe que tenha um valor considerado alto (maior que 6), possivelmente o grau de risco para aquela localidade será considerado alto. Já, se a relação for com um grupo de nota classificada como baixa (menor que 4), a avaliação do risco para tal espaço, será considerado médio ou baixo.

Por fim as classes que podem retratar áreas com menores riscos, encontram-se definidas com notas de 1 a 3. Destacam no mapa de índices de estabilidade, as classes Baixa Estabilidade (nota 3), Moderadamente Estável (nota 2) e Estável (nota 1), já no mapa de uso, cobertura e ocupação, foram definidas paisagens com Área Agrícola (nota 3), Pastagem (nota 2), Solo Exposto (nota 1), Capoeira²⁹ (nota 1), Mata (nota 1) e Corpos d'água (nota 1).

Neste cenário, diante dos valores adotados, para que um determinado espaço seja considerado de risco, é necessário que haja uma equiparação com uma classe com altos valores de influência. Por sua vez, os riscos relacionados às classes de Capoeira e Mata distantes da ocupação, estão ligados a perdas de solos ou de vegetação arbórea nessas áreas.

Os riscos ligados às classes Áreas Agrícolas e Pastagem, segundo Menon Junior (2016) trata-se de prejuízos e perdas econômicas e/ou estruturais, por meio de algum evento de grande magnitude.

O resultado final encontra-se apresentado por meio da definição de 4 (quatro) classes de risco a ocorrência de escorregamento, a destacar: 1) Baixo; 2) Médio; 3) Alto; e 4) Altíssimo Risco. A descrição e fatores relacionados a cada uma das classes, encontram-se especializadas no Quadro 2.

²⁹ Considerou-se como sendo **Capoeira**, toda vegetação secundária composta por gramíneas e arbustos esparsos.

Quadro 2: Identificação das Classes de Risco a Ocorrência de Escorregamentos e suas características.

Classes de Risco	Descrição	Exemplificação
Baixo	Os índices de estabilidade quando sobrepostos aos tipos de uso, cobertura e ocupação existentes, são de baixa potencialidade para o risco proveniente de escorregamentos. Neste nível, as perdas e danos, quando ocorrido algum tipo de evento, apresentam baixo nível de interferência sobre a população de maneira geral, o que acaba caracterizando o Risco para essa classe, como Aceitável.	Como exemplos de eventos que ocorrem nesta classe, tem-se: a perda de solos em áreas de pastagens, perda de cultivos em áreas agrícolas e perda de vegetação arbórea.
Médio	Os índices de estabilidade quando sobrepostos aos tipos de uso, cobertura e ocupação existentes, são de média potencialidade para o risco proveniente de escorregamentos. Neste nível, as perdas e danos, quando ocorrido algum tipo de evento, apresentam certo grau de transtorno e interferência sobre a população, o que acaba caracterizando o Risco para essa classe, como Tolerável.	Como exemplos de eventos que ocorrem nesta classe, tem-se: a percepção de sinais de instabilidade em encostas e margens de drenagem, e escorregamentos que afetam vias públicas.
Alto	Os índices de estabilidade quando sobrepostos aos tipos de uso, cobertura e ocupação existentes, são de alta potencialidade para o risco proveniente de escorregamentos. Neste nível, as perdas e danos, quando ocorrido algum tipo de evento, apresenta significativo grau de transtorno e interferência sobre a população, podendo causar morte ou danos financeiros para qualquer indivíduo que esteja alocados em áreas expostas ao perigo. Este Risco se caracteriza como Individual.	Como exemplos de eventos que ocorrem nesta classe, tem-se: a ocorrência de escorregamentos que derrubam muros, podendo causar pequenos danos à saúde humana, danos a residências e interrupção de tráfegos em vias públicas.
Altíssimo	Os índices de estabilidade quando sobrepostos aos tipos de uso, cobertura e ocupação existentes, são de altíssima potencialidade para o risco proveniente de escorregamentos. Neste nível, as perdas e danos, quando ocorrido algum tipo de evento, apresenta um elevado grau de transtorno e interferência sobre a população, podendo causar número grande de morte e/ou danos financeiros proeminente para toda população alocada em áreas expostas ao perigo. Este Risco se caracteriza como Social.	Como exemplos de eventos que ocorrem nesta classe, tem-se: a ocorrência de escorregamentos que derrubam muros, podendo causar graves danos à saúde humana, mortes coletivas, grandes danos a residências, desestruturação de serviços básicos (água, luz, esgoto, telefone) e interrupção de tráfegos por completo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise comparativa entre os produtos Altimétricos do sensor PALSAR e do sensor LiDAR

O primeiro resultado a ser apresentado refere-se ao primeiro objetivo específico, o qual se fundamentou na análise e avaliação do produto altimétrico do sensor PALSAR, em comparação com o MDE do sensor LiDAR.

Como propósito, tal objetivo averiguou se o produto altimétrico proveniente do sensor PALSAR / satélite ALOS, possuía uma resposta satisfatória e aceitável para serem utilizados na aplicação de modelos voltados à predição de escorregamentos, em áreas onde não se tem base de dados com detalhes para a realização de estudos com tal intuito.

Assim como esmiuçado na primeira etapa dos procedimentos metodológicos a área escolhida para realizar tal avaliação que contemplasse ambos os produtos, foi a Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera (BHCT), localizada na área urbana de Juiz de Fora.

Como a comparação se baseou na aplicação do modelo SINMAP para a predição de escorregamentos na área estudada, utilizando-se de ambos os modelos altimétricos provenientes do sensor PALSAR e do LiDAR. Foram gerados 3 (três) produtos a serem observados. O primeiro dele diz respeito às áreas de saturação do solo; o segundo as classes de declividade observada ao longo da bacia; e o terceiro refere-se à distribuição probabilística dos índices de estabilidade.

Inicialmente serão apresentados dois mapas referentes às áreas de saturação do solo (Figura 48) e as classes de declividade (Figura 49). O primeiro mapa de saturação do solo busca representar a relação existente entre a água que adentra ao sistema sob a forma de recarga (precipitação) e a água que deixa tal sistema por meio da camada saturada do solo. Já o segundo, referente às classes de declividade, representa a inclinação da superfície da área estudada, sendo essas expressas em porcentagem (%).

A discussão relativa ao mapa de saturação se faz oportuna, pois áreas de saturação estão diretamente relacionadas aos modelos hidrológicos de estado uniforme (*steady state*). Neste, a recarga de um dado solo, se dá pela variação espacial da umidade presente (altura da coluna d'água) durante o período chuvoso. A capacidade de saturação de um dado solo está relacionada à sua porosidade, taxa de percolação e profundidade, as quais dependem da declividade, comprimento da encosta e áreas de contribuição de fluxo da água (MICHEL, 2011, p.32).

Assim, áreas com menores índices de saturação (áreas em azul claro), na maioria das vezes correspondem às encostas convexas e locais de alta declividade, já áreas com maiores saturações coincidem com encostas côncavas e áreas mais planas (áreas em azul escuro).

Ao comparar os índices de saturação resultantes do modelo SINMAP é possível destacar que o produto do sensor PALSAR (Figura 48B), apresenta uma área relativa aos altos índices de saturação (regiões planas), maior do que a área presente no produto do sensor LiDAR (Figura 48A). Para o fator saturação, observou-se que o sensor PALSAR se comportou como sendo mais generalista na definição das classes do que o sensor LiDAR, muito pelo fato, deste segundo ser proveniente de um produto de maior detalhamento.

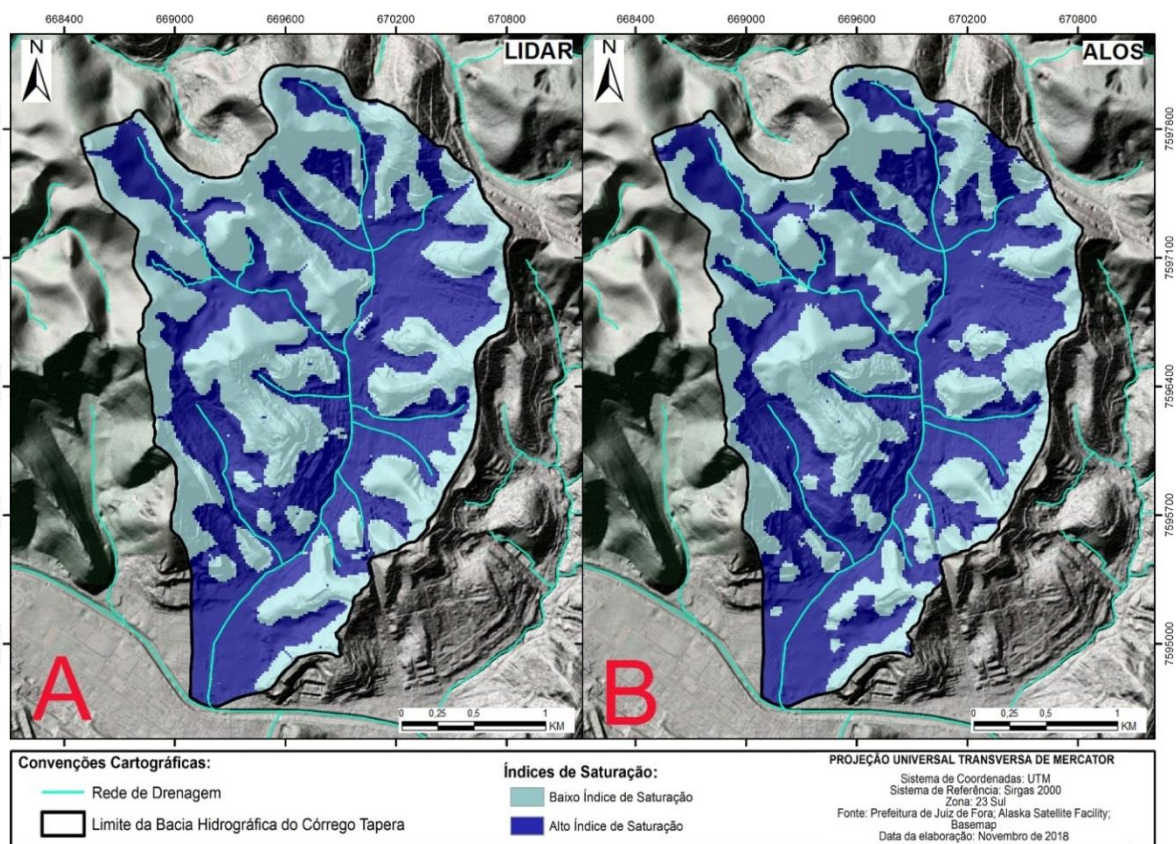


Figura 48: Comparativo do fator Saturação, entre sensores LiDAR e PALSAR na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera.

Já o fator declividade, é considerado um dos principais em estudos que visam à identificação de áreas de risco a movimentos de massa (MICHEL, 2011; DA SILVA; DA SILVEIRA e FIORI, 2012).

Souza *et al.* (2017), coloca que a declividade se comporta como uma forma de representar quantitativamente o comportamento espacial do relevo, tendo sua aplicabilidade voltada não somente para o planejamento e gestão de espaços urbanos e rurais, como também, para o cumprimento das legislações ambientais e para a avaliar a eficiência de intervenções humanas no ambiente.

No Brasil, existem leis relativas ao uso e parcelamento do solo em áreas urbanas, que mediante suas normatizações, adotam a declividade como um parâmetro inibidor à ocupação e uso da terra. Por exemplo, a Lei nº. 6.766/79, em seu primeiro capítulo, parágrafo único, inciso III, deixa claro que não pode ser permitido o parcelamento do solo urbano, “em terreno com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes”.

Tomando como base a declividade, observa-se que as áreas consideradas restritas ao parcelamento para uso e ocupação humana, possuem uma normatização específica, como é o caso da Lei 6766/79, podendo ainda ser acrescida de legislações específicas definidas e estabelecidas de acordo com as características físicas e naturais existente em cada localidade.

No âmbito em que se encontra a Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera, segundo a Lei Municipal de Juiz de Fora nº 6908/86, define, dentre outras normatizações, que o parcelamento deve ser limitado a “terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas as exigências específicas formuladas pela Prefeitura.”, seguindo neste caso o que já é estipulado na Lei 6766/79.

Diante disso, fez-se uma delimitação das áreas mais críticas relativa ao parcelamento do solo, acima de 30% de declividade, como estabelece a legislação vigente (Figura 49).

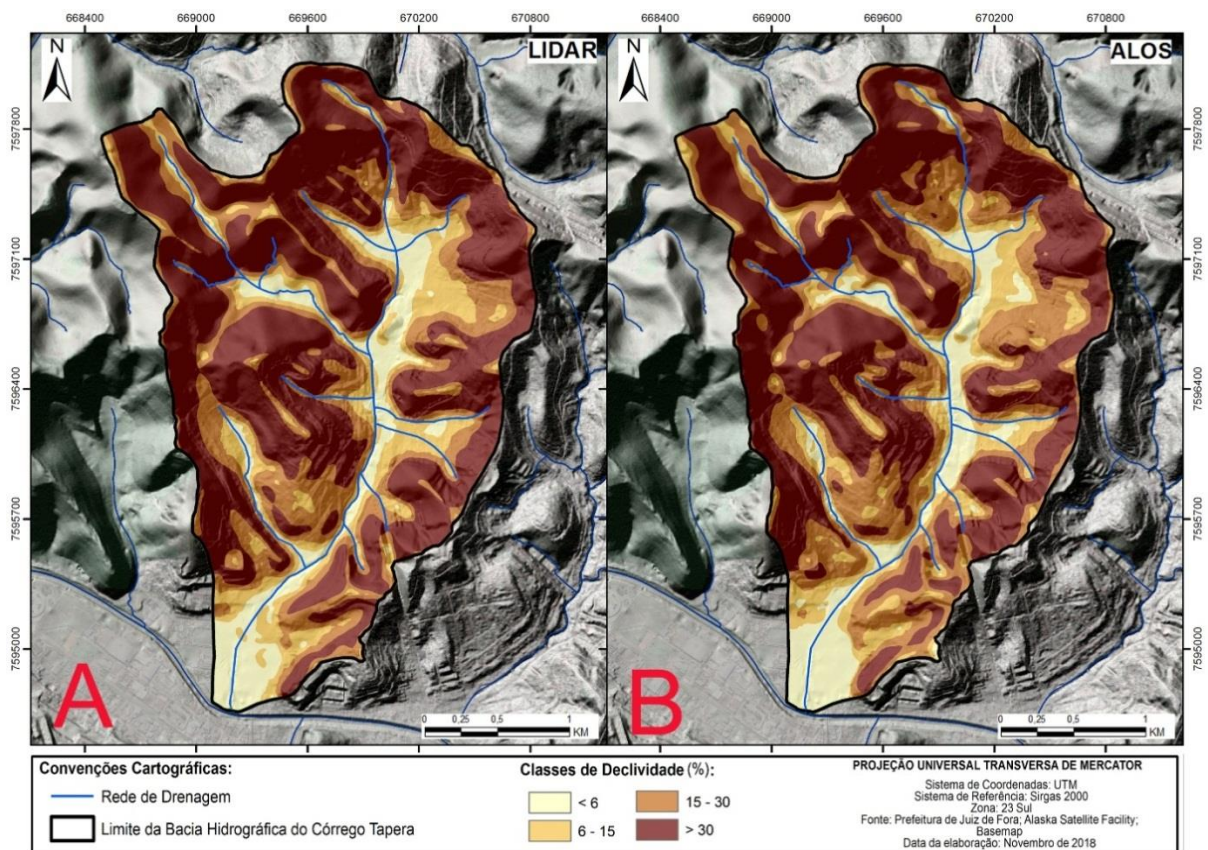


Figura 49: Comparativo do fator Declividade (%), entre sensores LiDAR e PALSAR na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera.

Como resultado deste parcelamento, é aceitável dizer que o produto proveniente do sensor PALSAR/ALOS (Figura 49B) apresenta forte semelhança com as mesmas classes presentes no LiDAR (Figura 49A).

Destaca-se que mesmo o sensor PALSAR, do satélite ALOS não tendo o nível de detalhe e continuidade que as classes presentes no LiDAR, verifica-se que seu produto muito se assemelha ao do Levantamento Aerofotogramétrico feito pela PJF. Tal constatação se dá mediante a observação da disposição das classes presentes em ambos os mapas, tomando como pontos de referências os topos de morros, as linhas de drenagens e as encostas.

Verifica-se a presença de baixos valores de declividade tanto nas áreas de planície, quanto em topos de morros planos em ambos os produtos. Outra área a qual se destaca uma similaridade entre o LiDAR e o ALOS, são as vertentes presentes na bacia estudada, onde nessas é possível destacar as maiores classes de declividade (acima de 30%).

O passo seguinte foi a apresentação do resultado gerado pelo modelo SINMAP referente à distribuição probabilística de áreas instáveis geradas pela combinação dos fatores topográfico, geomorfológico, pedológico e climático. O resultado encontra-se espacializado na Figura 50, com a especificação das seis classes de estabilidade propostas pelo modelo.

Observa-se que em ambos os produtos expostos existe uma similaridade expressiva na ocorrência e distribuição das classes de estabilidade presentes tanto no LiDAR, quanto no PALSAR. Destaca-se que as áreas consideradas instáveis apresentam uma conexão direta com os locais de maior declividade, já as áreas consideradas estáveis apresenta uma relação direta com as classes de menores declividades (Figura 49), em ambos os produtos analisados.

A conformidade entre as classes de estabilidades presentes na comparação dos mapas da Figura 50 é considerada bem semelhante principalmente nas áreas consideradas mais instáveis, com destaque para áreas côncavas e onde o mapa de declividade apontou para inclinações acima dos 30%.

Observa-se uma similaridade notável na distribuição das classes de estabilidades de encostas ao longo da bacia estudada. Visualmente nota-se que ambos os produtos altimétricos ao serem aplicados em um ambiente que contém a mesma morfologia geográfica, apresentam uma resposta convincente no ordenamento e localização das classes de estabilidade oferecidas pelo modelo utilizado para esse estudo.

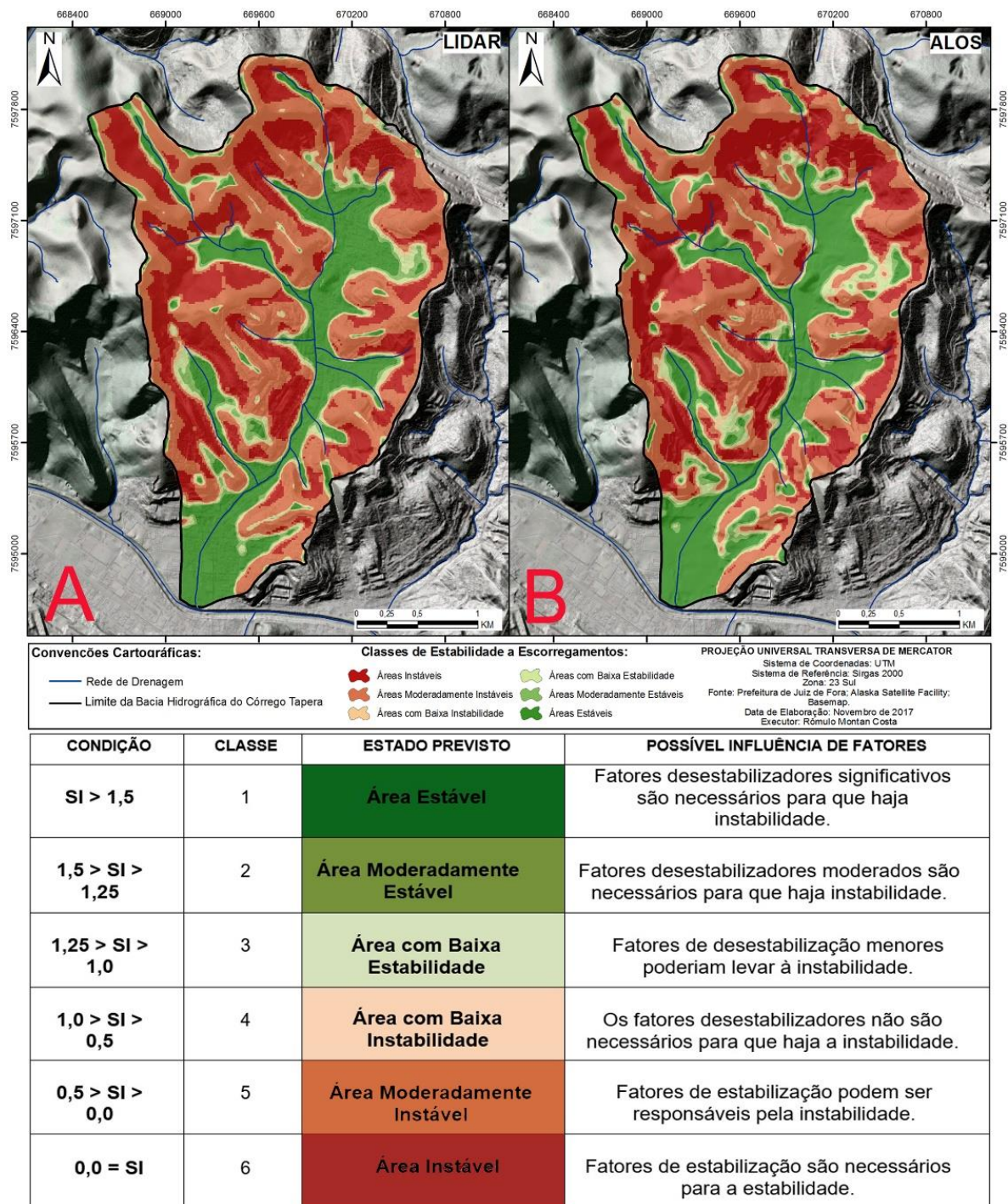


Figura 50: Mapa de Estabilidade de Encosta na BHTC, e a definição de todas as classes de estabilidade. Fonte: Costa, 2016 (Adaptado de PACK, TARBOTON e GODWIN, 1998).

Com intuito de quantificar e mensurar os resultados representados por meio dos mapas, elaborou-se então uma tabela com a distribuição quantitativa dos pixels existentes para cada uma das classes de declividades, e também para cada uma das classes de estabilidade geradas pelo modelo SINMAP, mediante aos MDE provenientes do sensor LiDAR e PALSAR (Tabela 12). Na Tabela encontram-se paralelamente estabelecidos à quantidade de pixels presentes em ambos os produtos estudados.

Tabela 12: Quantitativo de *pixels* referente a cada uma das classes presentes nos mapas de declividade e de estabilidade de encosta.

Classes de Declividade	LiDAR	PALSAR
< 6%	2444	2565
6 – 15%	3744	3015
15 – 30%	6652	6875
> 30%	18166	18551
Classes de Estabilidade	LiDAR	PALSAR
Áreas Instáveis	10709	10505
Áreas Moderadamente Instáveis	9668	8903
Áreas com Baixa Instabilidade	836	1066
Áreas com Baixa Estabilidade	2020	2449
Áreas Moderadamente Estáveis	1397	1495
Áreas Estáveis	6376	6588

Pode-se inferir que mediante a comparação entre o número de pixels existente em cada produto analisado, a maior quantidade encontra-se definida pelas classes de declividade acima de 30%, seguida da classe de 15-30%. Referente as classes de estabilidade se destacam as áreas consideradas “instáveis” e “moderadamente instáveis”, seguidas pelas “áreas estáveis”, como sendo as maiores concentrações de pixels em ambos os produtos analisados.

Ao analisar as informações da Tabela 12 como um todo, sem dar ênfase às classes com maior quantidade de pixels, nota-se que existiu um comportamento aproximado do somatório de células existentes para todas as classes de ambos os produtos estudados.

No que se refere à classe considerada mais tênue para a ocorrência de escorregamentos, acima de 30% de declividade, como apontado pela legislação, a diferença não passou dos 400 pixels, em um total aproximado de 18 mil, fato esse que deve ser levado em consideração. Outro quantitativo que deve ser apresentado está no somatório de pixels das áreas consideradas instáveis, onde somente 204 pixels foi a diferença encontrada no produto gerado pelo LiDAR do produto gerado pelo sensor PALSAR, em um total de aproximadamente 10 mil células.

Já as maiores diferenças encontradas estão na classe de declividade de 6-15% e na classe de estabilidade “moderadamente instáveis”, com aproximadamente 700 pixels de diferença nos dois.

Corroborando com as análises visuais, os resultados dos testes estatísticos comprovam a similaridade entre os dados PALSAR e LiDAR, como pode ser observados no demonstrativo exposto na Tabela 13.

Tabela 13 - Resumo as técnicas de avaliação estatística entre os dados PALSAR e LiDAR

Metodologia	Parâmetros Estatísticos				
	R ²	R	EMA	ERM	REQM
PALSAR x LiDAR	0,95	0,98	0,00	0,19	0,02

Os elevados resultados a partir da aplicação do Coeficiente de Determinação (95%) e do Coeficiente de Correlação de Pearson (98%) para a comparação entre o conjunto dos pixels de ambos os produtos (PALSAR e LiDAR) demonstram uma elevada similaridade, corroborando com as observações efetuadas a partir dos resultados gráficos nos mapas. Dessa forma, a comparação do conjunto dos dados pode ser considerada como *Muito Forte*.

A avaliação dos erros sistemáticos entre ambos os conjuntos de pixels, também, mostrou resultados concordantes.

Em termos estatísticos, a média dos erros individuais é o primeiro passo para a distribuição das diferenças entre os conjuntos de dados (HALLAK e PEREIRA FILHO, 2011). Erros individuais positivos e negativos de mesma magnitude se cancelam no somatório. O EMA contorna esse problema por ser menos afetado por valores anormalmente extremos (*outliers*). Dessa forma, resultados do EMA próximos a zero (0) são considerados como condição perfeita.

Da mesma forma, para o ERM, assim como para o REQM, o valor zero (0) indica a relação perfeita, pois, à medida que esse valor aumenta, aumentam as diferenças entre os resultados dos modelos.

Sendo assim, a análise do conjunto e valores dispersivos dos pixels entre PALSAR e LiDAR, a partir da avaliação dos erros, os baixos valores encontrados para esses parâmetros observados na Tabela 13, indicam que o grau de espalhamento desses valores foi, praticamente, nulo. Tais resultados reforçam as considerações de que ambos os produtos analisados apresentam forte similaridade.

Tal constatação leva a crer que o produto do sensor PALSAR, quando relacionados com as outras variáveis de entradas necessárias para o desenvolvimento do modelo, apresentou resultados convincentes quando comparado, quantitativamente e estatisticamente, aos resultados apresentados pelo sensor LiDAR.

Contudo, conclui-se que os resultados encontrados são aceitáveis, e que tal metodologia pode ser aplicada para a identificação de áreas de risco a escorregamentos em locais onde não tem uma base de dados detalhada, sem que os resultados sejam considerados inválidos e/ou ilegítimos.

6.2 Mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques (BHRH) e do Ribeirão dos Palmares (BHRP).

A partir da metodologia adotada para a delimitação das classes de uso, cobertura e ocupação da superfície na área estudada, foi possível identificar 8 (oito) diferentes tipos (Figura 51), os quais se destacam: 1) Área de Cultivo; 2) Área Urbanizada; 3) Área de Expansão Urbana; 4) Capoeira; 5) Corpos d'água; 6) Mata; 7) Pastagem e; 8) Solo Exposto.

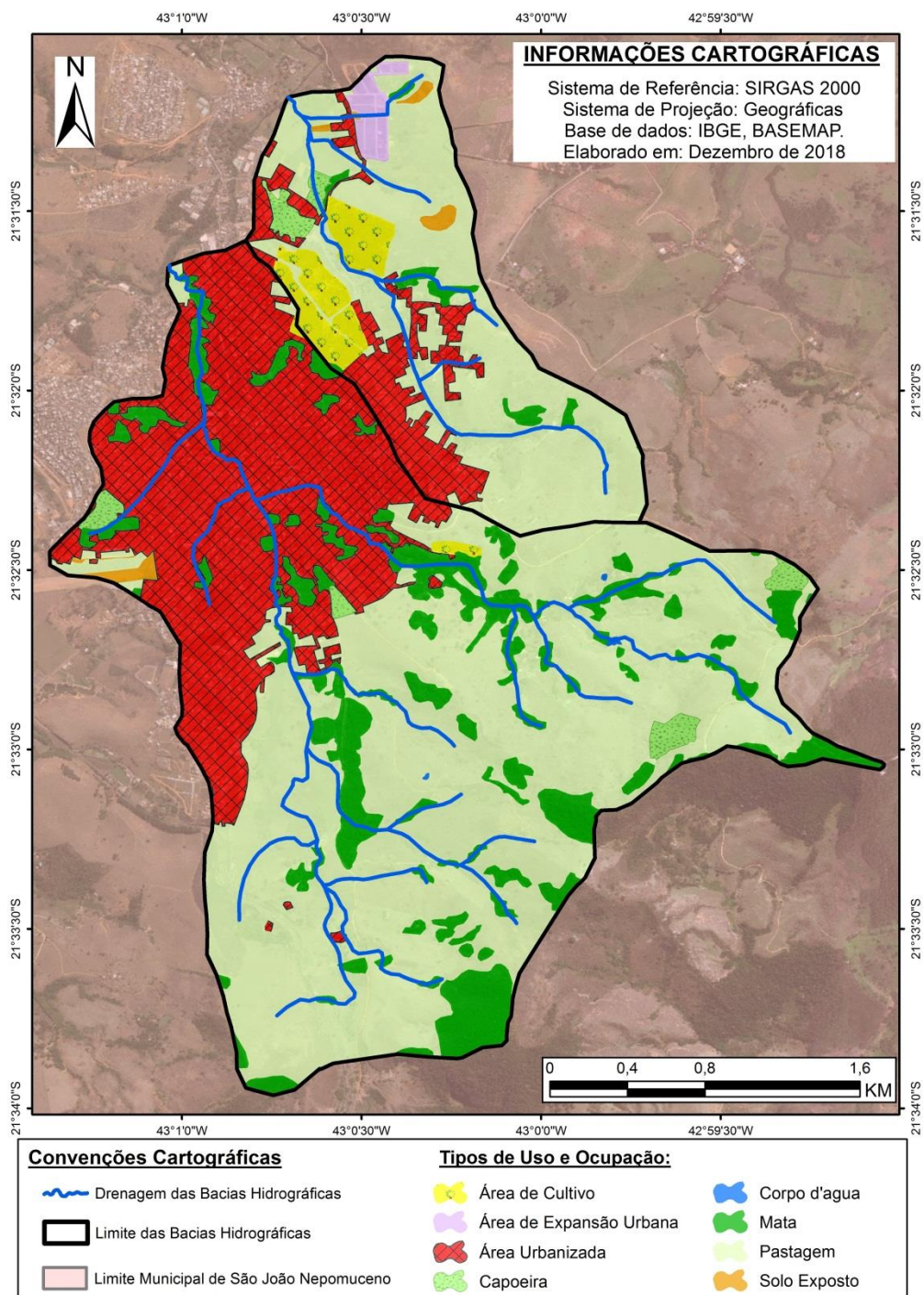


Figura 51: Mapa de Uso e Cobertura e Ocupação da Superfície, nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Dentre os 8 (oito) diferentes tipos, o que apresentou maior representatividade foi a classe Pastagem, com 58% do total da área, seguido da Área Urbanizada com aproximadamente 24%. Já as classes que tiveram menor expressividade foram Corpos d'água com 0,03%, Solo Exposto com 0,5% da área, seguidos da Área de Expansão Urbana, registrando apenas 0,7% do total de 10,15 km² da área, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14: Quantitativo das áreas e porcentagem de cada classe observada no mapa de uso, cobertura e ocupação.

Tipos de Uso e Cobertura	Área de Cultivo	Área de Expansão Urbana	Área Urbanizada	Capoeira	Corpo d'água	Mata	Pastagem	Solo Exposto	TOTAL
Área (km²)	0,22	0,07	2,5	0,15	0,003	1,16	6,0	0,05	10,15 km²
Porcetagem (%)	3,15	0,7	24,7	1,4	0,03	11,4	58,1	0,5	100%
Cicatrizes	1	0	7	0	0	0	3	0	11

Destacando a classe “Área Urbanizada”, de interesse quando se estuda áreas de risco a escorregamentos, a mesma apresentou boa parte de sua extensão localizada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Henriques, estando por sua vez, concentrada no estuário da referida BHRH. Já a presença da referida classe, na BHRP, encontra-se espacializada de maneira descontínua, estando a maior parte concentrada na margem esquerda do Ribeirão dos Palmares.

Uma das responsáveis pelo interesse neste estudo, a Área Urbana são-joanense, contemplada dentro do limite das Bacias Hidrográficas escolhidas, retrata estruturalmente quase que a totalidade da área urbana da sede do município. Instituídas sem um plano de gestão e controle, assim como a maioria das cidades brasileiras, os estabelecimentos existentes dentro da área urbana destacada para este presente trabalho, encontra-se distribuídos e dispostos de maneira aleatória, observando frequentemente em uma mesma localidade, áreas de uso doméstico (tais como casas e apartamentos) e estabelecimentos comerciais dos mais variados tipos de serviços.

Ainda sobre a Área Urbanizada, nela foram observados os maiores números de cicatriz catalogados dentro do limite das bacias hidrográficas. Com um total de 7 (sete) escorregamentos pretéritos de 11 (onze) registrados, mais de 60% dos eventos se deram sobre locais considerados urbanos.

Diante da realidade observada na área de pesquisa, a importância de se elaborar um mapa de uso, cobertura e ocupação para estudos voltados a temática dos escorregamentos, se faz ainda mais pertinente, uma vez que, se observa uma discrepância muito grande no número de ocorrências sobre usos da terra considerados urbanos e de usos julgados como rurais.

Assim como colocado por Guerra (2011), as ocorrências de eventos indesejáveis e prejudiciais estão intrinsicamente ligadas dentre outros fatores, aos diferentes tipos de uso, cobertura e ocupação do solo. Destaca-se, portanto, que as ocorrências de eventos de escorregamentos, se dão de maneira desigual e desequilibrada perante os diferentes usos e manejos dos solos, fato este que muitas das vezes, dita o ritmo e a quantidade de ocorrência de eventos desastrosos em locais urbanizados (GUERRA, 2011).

A ocorrência dos eventos de escorregamentos sobre os distintos usos, cobertura e ocupação da terra na área de estudo, podem ser observados na Figura 52.

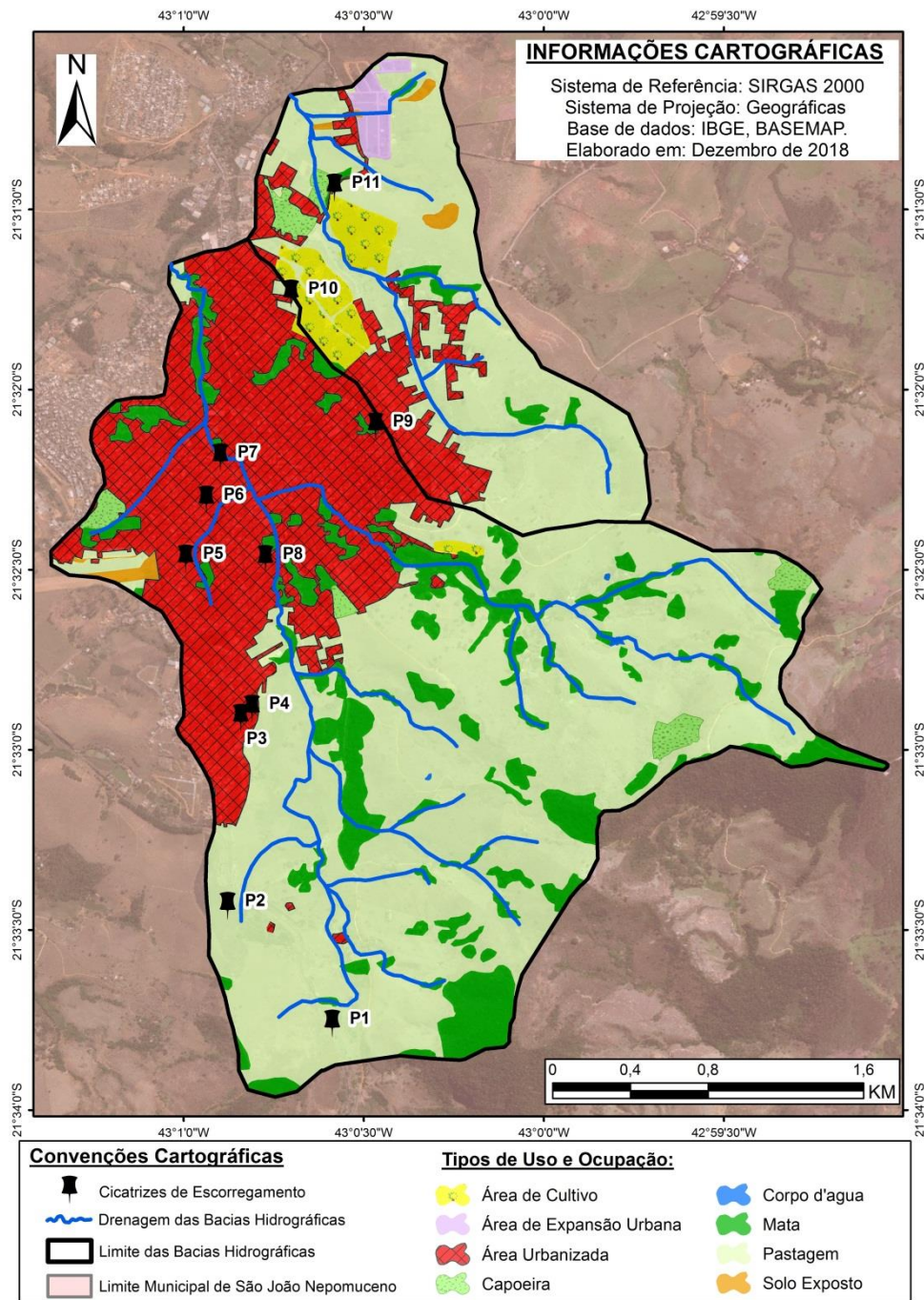


Figura 52: Mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da Superfície, nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, com o registro das cicatrizes de escorregamentos mapeadas.

Dando seqüência nas análises relativas às demais classes, vale destacar aqui a categoria “Área de Expansão Urbana”. Apesar desta, representar somente 0,7% da área de estudo, a mesma se caracteriza como um local que se predispõe a novas ocupações, e, portanto, para o mapeamento de áreas de risco, tal camada merece atenção. Neste caso, a avaliação de seus fatores geoambientais, a fim de verificar avaliar a disponibilidade para receber habitações, representa uma ação plausível e pertinente dentro do objetivo deste estudo.

Vale salientar que a região onde se encontra mapeada a classe “Área de Expansão Urbana”, por estar localizada próxima ao bairro denominado “Bairro Industrial”, da cidade de São João Nepomuceno, a mesma se estabelece como uma das principais áreas de interesse para a expansão urbana.

As demais classes (Mata, Capoeira, Solo Exposto e Corpos d’Água) encontram-se distribuídas de maneira diversificada ao longo da área de estudo. Com maiores destaques, tem-se a classe “Mata” presente ao longo das linhas de drenagem, em alguns topos de morros, e ao longo do limite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Henriques.

Já o tipo de uso definido como “Áreas de Cultivo”, presente quase que em sua totalidade na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Palmares, tem como principal produto a cultura de eucaliptos. A título de curiosidade, tal cultivação vem sendo constantemente verificado em diversos locais dentro do município são-joanense, e não somente ao longo da área em evidência, com o objetivo de corte.

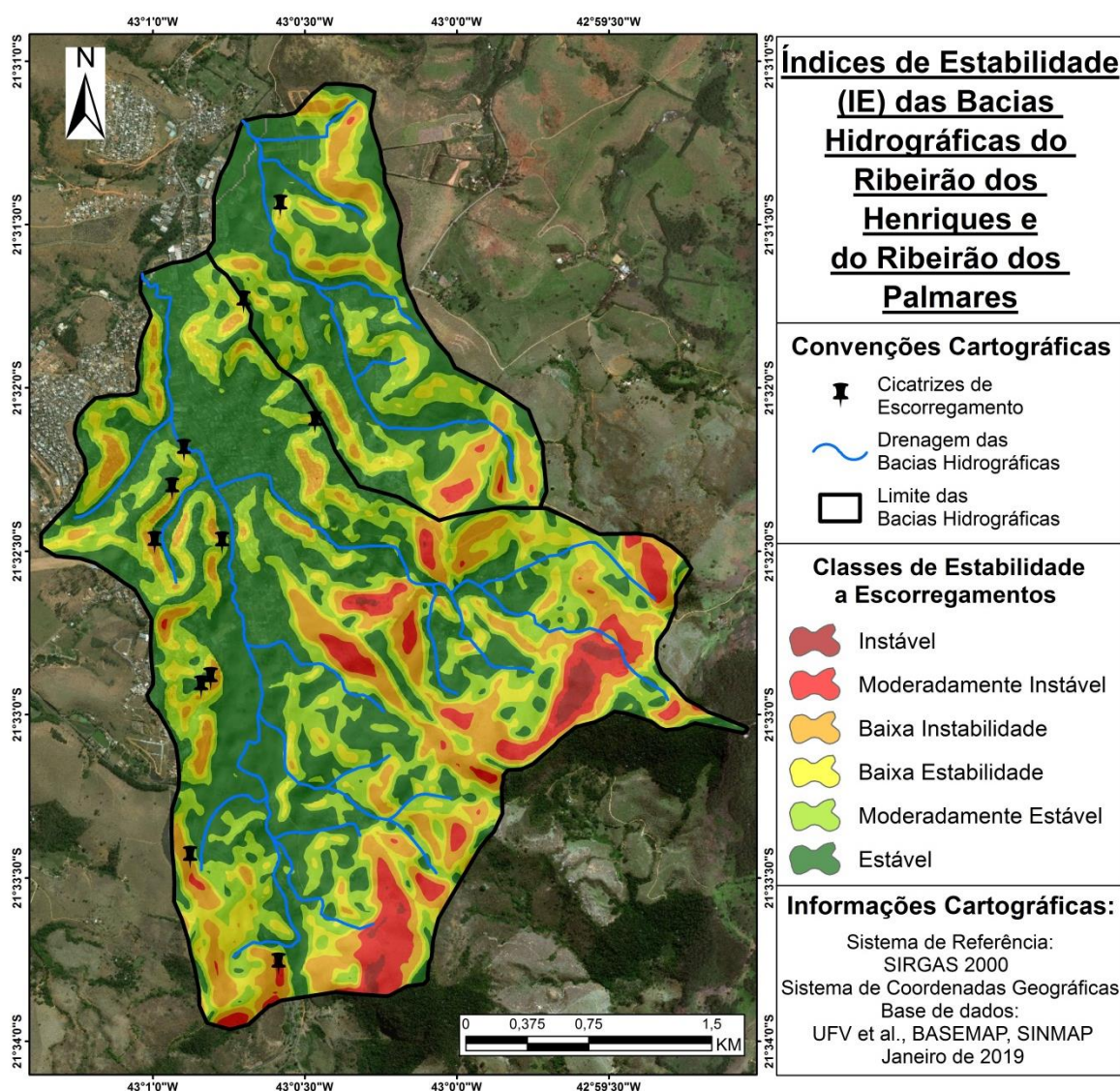
Diante disso, verificou-se que os resultados encontrados, apresentaram uma resposta satisfatória tanto na mensuração dos diferentes tipos de uso, cobertura e ocupação, quanto na identificação de cada um, dentro da área de estudo escolhida.

É válido e oportuno ressaltar, que devido a escala de mapeamento ter sido fixada em 1:10.000, possivelmente possa ter havido alguma imperfeição ou falha na caracterização ou na demarcação de alguma das classes analisadas, causado pela precisão visual. Contudo, admite-se que possíveis incorreções são mínimas, e não depreciam a autenticidade e a veracidade das informações aqui apresentadas.

O produto cartográfico desenvolvido, condizente a elaboração de um mapa de uso, cobertura e ocupação do solo, utilizando-se do pacote de imagens de satélite do *Basemap* presente no *software ArcGis*, para a BHRH e BHRP, localizadas no município de São João Nepomuceno-MG, tem como finalidade servir de suporte e ser utilizada para destacar locais de risco a escorregamentos, a partir de sua correlação com mapeamento de índices de estabilidade.

6.3 Índices de Estabilidade das áreas propensas a escorregamentos, a partir da aplicação do SINMAP, para a área relativa às Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

O mapa resultante da aplicação do modelo SINMAP, em conformidade com a proposta metodologia aplicada por Pack; Tarboton e Goodwin (1998), encontra-se definido a partir de 6 (seis) índices de estabilidade do relevo existente dentro do limite das Bacias Hidrográficas pesquisadas, conforme observado na Figura 53.



CONDIÇÃO	CLASSE	ESTADO PREVISTO	POSSÍVEL INFLUÊNCIA DOS FATORES
$IE > 1,5$	1	Instável	Fatores de estabilização são necessários para a estabilidade.
$1,5 > IE > 1,25$	2	Moderadamente Instável	Fatores de estabilização podem ser responsáveis pela estabilidade.
$1,25 > IE > 1,0$	3	Baixa Instabilidade	Fatores desestabilizadores não são necessários para que haja a instabilidade.
$1,0 > IE > 0,5$	4	Baixa Estabilidade	Fatores de desestabilização menores poderiam levar à instabilidade.
$0,5 > IE > 0,0$	5	Moderadamente Estável	Fatores desestabilizadores moderados são necessários para que haja instabilidade.
$0,0 = IE$	6	Estável	Fatores desestabilizadores significativo são necessários para que haja instabilidade.

Figura 53: Mapa de Índices de Estabilidade do relevo para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, com as cicatrizes de escorregamentos e a definição das classes de estabilidade existentes.

Mediante a visualização do mapa, pode-se destacar de maneira geral, que as classes de estabilidade definidas como de menor probabilidade de ocorrência de escorregamentos, contempladas com cores mais frias, são as mais evidenciadas dentro do Limite das Bacias Hidrográficas observadas. As mesmas apresentaram uma grande relação com as áreas de menores diferenças altimétricas, sendo a presença destas percebidas em áreas de planícies, próximas a canais de drenagem e também no terço inferior das vertentes.

Já as classes de maior instabilidade, com as cores mais quentes, são observadas de maneira mais pontual, ao longo do limite pesquisado, estas por sua vez, estão associadas à localidades, com índices de declividade um pouco maiores, sendo identificadas em regiões próximas as cabeceiras e vertentes mais íngremes das Bacias Hidrográficas.

Como colocado, nos parágrafos anteriores, foi possível perceber que, mesmo que o modelo SINMAP se utilize de parâmetros pedológicos e climáticos para definir seus índices de estabilidade, foi perceptível a partir da análise da Figura 53, ao longo da área de estudo, a forte correlação existente entre as classes de estabilidade mapeadas e a declividade.

Para tanto, ambos os produtos mencionados foram colocados lado a lado a título de análise e comparação (Figura 54).

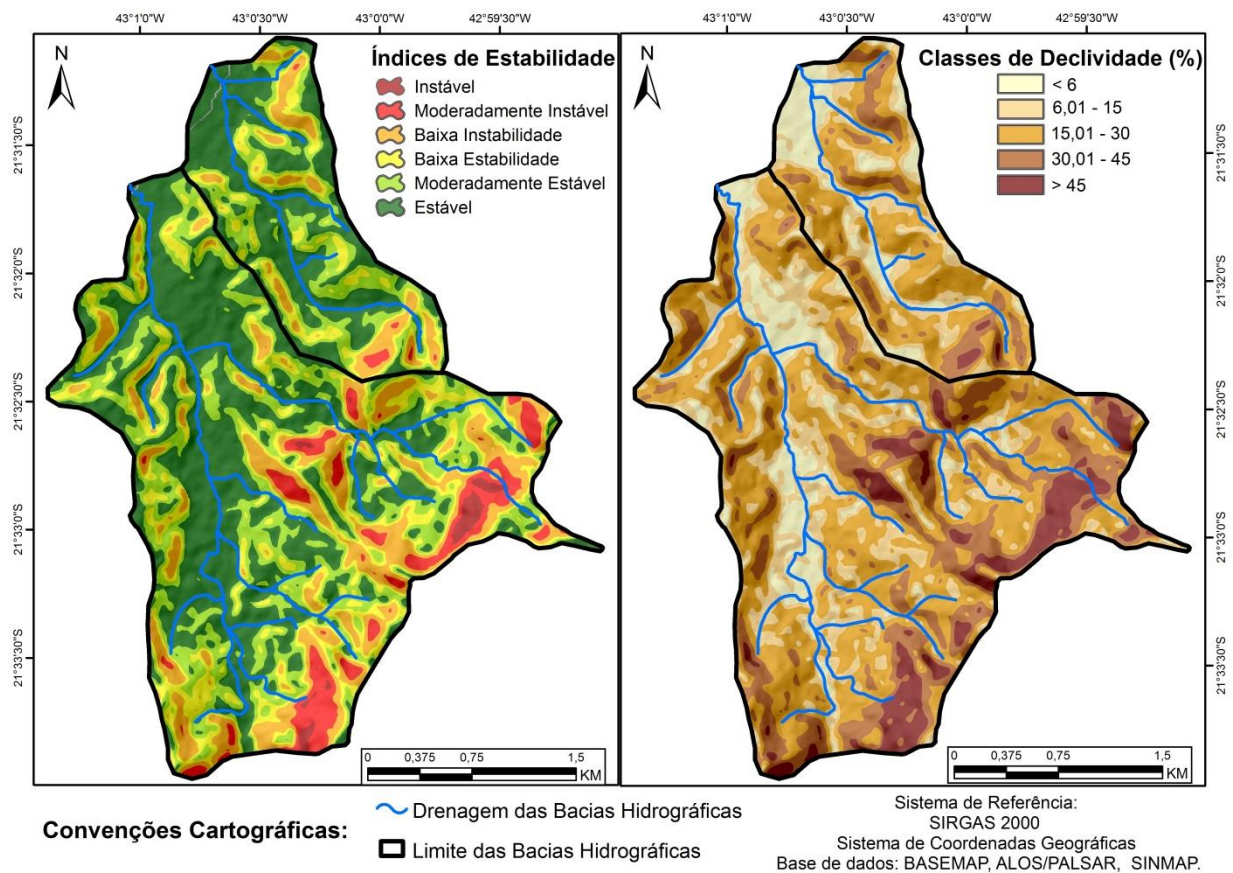


Figura 54: Comparativo entre Mapa de Índices de Estabilidade e a Declividade do Relevo para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.

Com ambos os produtos na mesma escala espacial de análise, e estando pareados, fica evidente que a afinidade entre os índices de estabilidade e as classes de declividade é muito grande, onde é possível afirmar que a relação entre os produtos se dá de maneira diretamente proporcional, se tomado como base, o grau de instabilidade do relevo. Neste caso, áreas caracterizadas com maiores índices de instabilidade, são locais que apresentam maiores valores de declividade. Em contrapartida, em regiões identificadas com baixos índices de instabilidade (áreas estáveis), é possível verificar a presença de baixos valores de inclinação no terreno.

Tal constatação torna-se pertinente e atual, ao fato que esta dialoga com a legislação que regulamenta o parcelamento e uso dos solos urbanos. Aqui retratada, a declividade é vista como um atributo importante para a definição de uma área como apta ou não ao uso e/ou ocupação. Assim como já discutido no item 4.3, deste trabalho, referente às regulamentações e normatizações para o uso e parcelamento do solo urbano, a declividade encontra-se presente nas principais leis e diretrizes que regem e regulamentam o uso e parcelamento do solo urbano, em todas as unidades governamentais (federação, estado e município).

Mesmo que as classes de declividade indique uma forte equiparação com os índices de estabilidade do relevo na área investigada, destacar localidades como instáveis a ocorrência de escorregamentos, e por sua vez, impróprias ao uso e ocupação humana, tomando como base única e exclusivamente à declividade, pode até ser considerada uma forma válida, porém, incompleta e com grande probabilidade de cometer erros e falhas. Isso porque, a ocorrência de um evento de escorregamento, se dá mediante a inter-relação de variados agentes e fatores deflagradores, sendo estes naturais ou até induzidos.

Neste sentido, voltando para a comparação entre os dois produtos (índices de estabilidade e declividade), não existe somente pontos comuns entre os produtos observados, é possível destacar também dissemelhança entre eles. Uma diferença notória e interessante de ser apontada está na maneira como as classes de cada um dos produtos se comportam e se distribuem espacialmente.

Destaca-se que no mapa referente aos índices de estabilidade, as classes são mais contínuas e congregadas do que se observa no mapa de declividade, onde neste as categorias se distribuem de maneira descontínuas e inconstantes, inclusive em pequenas dimensões no espaço.

Tal fato identificado se justifica basicamente por motivos, ligados a elaboração dos produtos analisados. Para a geração do mapa contendo os índices de escorregamentos, pelo modelo SINMAP, por exemplo, é necessário que haja a entrada de dados relativos a

parâmetros pedológicos, climáticos e altimétricos, os quais sendo correlacionados entre si, por meio de equações matemáticas, fornecem o produto final que ao ser reclassificado, define os índices de estabilidade conhecidas. Neste sentido, como ao longo do processo de construção, o produto do modelo SINMAP, passa por diversos processamentos e ações, sua classificação final incorpora todos os parâmetros analisados dentro das classes de estabilidades definidas, que mediante as características existentes, promovem uma melhor aglutinação das propriedades evidenciadas naquele espaço.

Já para a elaboração da declividade do terreno, utiliza-se única e exclusivamente o Modelo Digital de Elevação (MDE) relativo à área *core*. Dessa forma, a representação de tal produto cartográfico, evidencia de maneira direta e correlata a conformação do relevo a partir da altimetria existente no MDE usado. Neste caso, estando a área de estudo, situada sobre o Domínio Morfoclimático dos “Mares de Morros” (AB’SABER, 2003), as características de uma declividade mais descontínua e inconstante ao longo do terreno, já eram esperadas.

Analisando agora a distribuição dos Índices de Estabilidade para os limites das Bacias Hidrográficas em estudo, com o interesse de ter uma melhor determinação e estimação das classes caracterizadas pelo modelo, extraiu-se do Mapa apresentado na Figura 53, um quantitativo das áreas condizentes a cada uma das categorias de análise. Tal procedimento proporcionou uma melhor visualização e interpretação dos valores em área (km²), em porcentagem (%), e também, do quantitativo de escorregamentos que já ocorreram em cada um dos 6 (seis) índices de escorregamento. Os valores e os quocientes encontram-se definidos na Tabela 15.

Tabela 15: Quantitativo das áreas e porcentagem, para cada classe de estabilidade observada no mapa de Índices de Estabilidade do relevo nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.

Índices Estabilidade	Instável	Moderadamente Instável	Baixa Instabilidade	Baixa Estabilidade	Moderadamente Estável	Estável	TOTAL
Área (km²)	0,1	0,49	1,42	1,5	1,32	5,32	10,15 km²
Porcetagem (%)	1,0	4,8	14,0	14,8	13,0	52,4	100%
Cicatrizes	0	1	6	4	0	0	11

A partir da tabulação das classes expostas na Tabela 15, é possível analisar de maneira mais palpável e concreta alguns pontos levantados mediante a observação do Mapa de Índices de Estabilidade, apresentado na Figura 53.

O primeiro ponto que merece destaque refere-se ao tamanho da área correspondente à classe “Estável”. Com um total de 5,32 km², a mesma corresponde a 52,4% do total da área relativa às Bacias Hidrográficas do Ribeirão do Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Partindo de uma escala de sucessão, tem-se na sequência a categoria denominada de “Moderadamente Estável”, esta, com valores bem mais modestos, apresenta como área de abrangência um total de 1,32 km², que correspondem a 13%.

Tanto para a classe Moderadamente Estável, quanto para a classe “Estável”, Pack; Tarboton e Goodwin (1998) colocam que para que haja instabilidade dentro destas, os fatores desestabilizadores devem exercer influência consideradas no mínimo moderada ou significativa, respectivamente. Mediante observação da Tabela 15, fica evidenciada tal constatação para a área pesquisada. Destaca-se, portanto, que em nenhuma das duas categorias analisadas até o momento, foram observadas ocorrências de escorregamentos.

Estando essas duas classes associadas a regiões de planícies, próximas a canais de drenagem, e de maneira geral, no sopé das encostas da área de estudo, Figura 55, notoriamente explica a ausência de cicatrizes de escorregamentos nestas classes.



Figura 55: Exemplos de área de “fundo de vale”, obtidas próximas ao trevo de acesso à cidade de São João Nepomuceno, as quais de acordo com o modelo SINMAP, foram classificadas dentro das classes “Estável” e “Moderadamente Estável”.

Na sequência do mais estável para o mais instável, têm-se agora duas classes que chamam a atenção não pelo tamanho da área que essas correspondem, mas sim, pela quantidade de cicatrizes que foram observadas sobre suas competências. Trata-se das classes definidas como de “Baixa Estabilidade” e “Baixa Instabilidade”. Somadas as ocorrências registradas em ambas, foram registrados 10 (dez) das 11 (onze) cicatrizes mapeadas para toda a área de estudo.

Na faixa considerada de “Baixa Estabilidade” foram observadas 4 (quatro) cicatrizes de escorregamentos, ao longo dos 1,5 km² de área, ou 14% do total da área de estudo, que estão sobre a demarcação da referida classe. Já na categoria “Baixa Instabilidade”, abrangendo uma extensão de 1,42 km², encontram-se especializados 6 (seis) registros de cicatriz.

Destaca-se de modo amplo, que nestes dois grupos de índices de estabilidade pequenos fatores desestabilizadores são capazes de caracterizar uma área como potencialmente instável. Neste caso, ambas as classes não estão associadas a localidades com grandes inclinações do terreno, ou até mesmo, regiões com baixos valores de coesão pedológica, por exemplo.

Portanto, as concentrações destas classes ao longo das Bacias Hidrográficas da área de estudo foram frequentemente em localidades com declividades médias, variando entre valores de 6 a 30 % de inclinação, com registro também, no terço inferior e superior de vertentes mais íngremes e ao longo de algumas encostas de menores proporções e mais suavizadas (Figura 56).



Figura 56: Exemplos de área de vertentes, obtidas ao longo da área de estudo, as quais de acordo com o modelo SINMAP, foram classificadas dentro das classes “Baixa Estabilidade” e “Baixa Instabilidade”.

Destacando agora as classes definidas pelo modelo SINMAP, como sendo as mais críticas, e portando, as mais prováveis para a deflagração de eventos de escorregamentos, temos as categorias intituladas de “Moderadamente Instável” e “Instável”.

Como observado no mapa de Índices de Estabilidade, Figura 53, e quantificado na Tabela 15, tais classes apresentam aparições bem modestas dentro do limite da região em estudo. Com áreas de 0,49 e 0,1 km² para as classes “Moderadamente Instável” e “Instável”, respectivamente, a porcentagem de ambas, se somadas chegam a 5,8% do total da área.

Além de apresentarem valores reduzidos, o registro destas classes ao longo do espaço urbano existente no local de estudo, também é comedido. As maiores concentrações destas classes estão nas áreas de maiores declividades, com aparições correlatas em áreas onde a inclinação do terreno é superior a 30% de inclinação (Figura 57).



Figura 57: Exemplos de área de vertentes, obtidas ao longo da área de estudo, as quais de acordo com o modelo SINMAP, foram classificadas dentro das classes “Instáveis” e “Moderadamente Instáveis”.

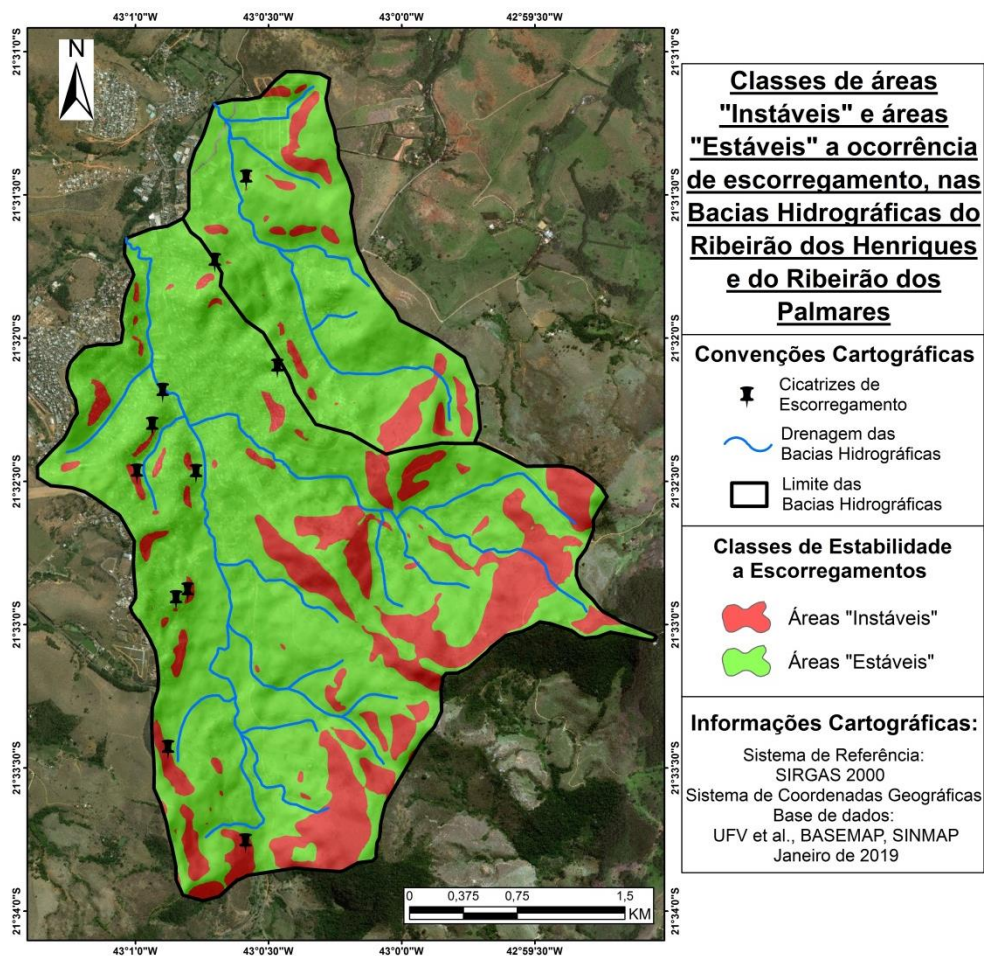
Neste sentido, devido ao parâmetro declividade, a coesão e profundidade dos solos nestas regiões, apresentam valores muito distintos das demais áreas já discutidas. Assim, quando tais fatores são correlacionados a partir do modelo SINMAP, seus valores de resistência e coesão diminuem, o que condiciona a determinação de tais áreas como prováveis à ocorrência de escorregamentos, principalmente durante os períodos de maiores precipitações.

Por fim, objetivando ter outro método de análise, buscou-se dentre as 6 (seis) classes de estabilidades propostas pelo modelo uma reclassificação das mesmas com o intuito de dividi-las em apenas duas categorias, denominadas de “Instáveis” e “Estáveis”, a fim de mensurar e quantificar de maneira mais simplista o produto gerado a partir da aplicação do modelo SINMAP.

O propósito ao realizar tal procedimento foi o de ter uma visão mais clara e direta das localidades apontadas pelo modelo referente às áreas consideradas “Instáveis” e “Estáveis”, buscando através da diminuição de classes, reduzir moderadamente a poluição visual, tendo assim uma observação mais explícita do que está sendo representado.

Neste caso, para a definição da classe denominada “Instáveis”, houve o agrupamento das categorias: Instável, Moderadamente Instável e Baixa Instabilidade. Já para a definição das áreas consideradas “Estáveis”, fez-se a junção das ordens Estável, Moderadamente Estável e Baixa Estabilidade.

O resultado da compilação das classes de estabilidade propostas pelo modelo SINMAP, podem ser observadas na Figura 58 e 59.



CONDIÇÃO	CLASSE	ESTADO PREVISTO	POSSÍVEL INFLUÊNCIA DOS FATORES
$IE > 1,5$	1	Instável	Fatores de estabilização são necessários para a estabilidade.
$1,5 > IE > 1,25$	2	Moderadamente Instável	Fatores de estabilização podem ser responsáveis pela estabilidade.
$1,25 > IE > 1,0$	3	Baixa Instabilidade	Fatores desestabilizadores não são necessários para que haja a instabilidade.
$1,0 > IE > 0,5$	4	Baixa Estabilidade	Fatores desestabilização menores poderiam levar à instabilidade.
$0,5 > IE > 0,0$	5	Moderadamente Estável	Fatores desestabilizadores moderados são necessários para que haja instabilidade.
$0,0 = IE$	6	Estável	Fatores desestabilizadores significativo são necessários para que haja instabilidade.

Figura 58: Reclassificação dos Índices de Estabilidade do modelo SINMAP, para somente duas classes de análise: Áreas “Instáveis” e Áreas “Estáveis”, correspondentes ao relevo nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmareis.

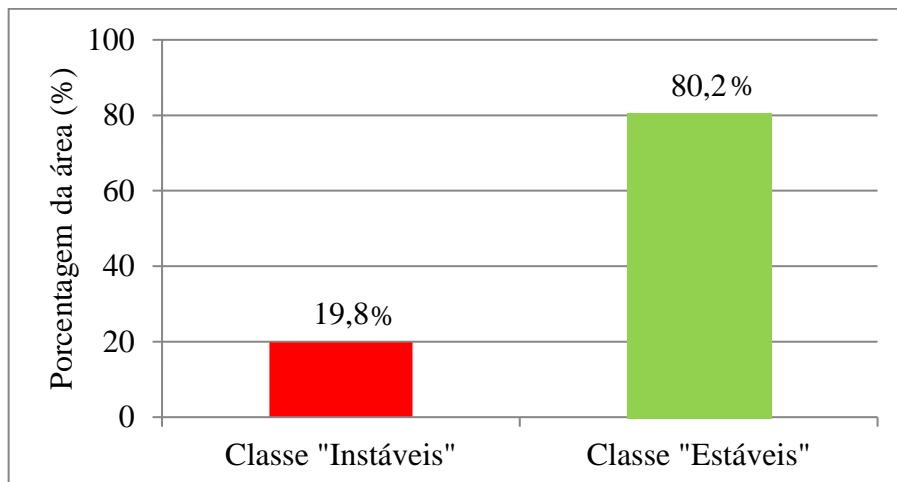


Figura 59: Gráfico com porcentagem das áreas relativa a classe “Instáveis” e a classe “Estáveis” observadas no mapa da Figura 58.

A partir do quantitativo exposto na Figura 59, é possível apontar que o percentual das áreas consideradas “Estáveis”, para o Limite das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, é amplamente maior que a porcentagem calculada para as classes agrupadas como “Instáveis”.

Com uma área de 8,14 km² o agrupamento das classes estáveis, chega a contemplar uma extensão 4 (quatro) vezes maior que o domínio das classes consideradas instáveis, cuja área encontra-se com 2,01 km².

Tal realidade, portanto, não segue a mesma progressão quando analisamos os registros de escorregamentos pretéritos ocorridos ao longo das Bacias Hidrográficas estudadas. A ocorrência destes eventos são mais evidenciados dentro das áreas consideradas “Instáveis”, após a junção das categorias. Dos 11 (onze) escorregamentos catalogados, 7 (sete) deles encontram-se situados sobre a referida classe.

Diante de tal percepção, vale destacar que a ocorrência de escorregamentos dentro da área pesquisada apresentou uma forte correlação com as áreas identificadas como propensas a ocorrência de escorregamentos.

Por outro lado, vale destacar que as demais cicatrizes que foram catalogadas, estas sobre regiões consideradas como “Estáveis”, também merecem destaque. Neste caso, por terem sido registradas em locais onde, de acordo com as características físicas e estruturais ali existentes, não se esperaria que houvesse registro de escorregamentos.

Para saber a origem das 4 (quatro) cicatrizes, observadas sobre as classes consideradas estáveis, foi feita então incursões a campo para análise e investigação da origem de cada uma. Foi então observado que 3 (três) das 4 (quatro) ocorrências estudadas, foram causadas por intervenções antrópicas no ambiente, tais como: retirada e retilinização de talude para a construção de moradias, queda de rua causado por problemas estruturais no escoamento de águas de chuva e aberturas de lotes. Já 1 (uma) das cicatrizes analisadas foi caracterizada como natural, ocasionada pela presença de ravinas e voçorocas em estágio ativo e acelerado de erosão e transporte de material, em uma região de pastagem.

Diante do que foi aqui apresentado, tomando como base a área de estudo escolhida, é válido apontar que tanto as áreas consideradas como estáveis, quanto os locais julgados como instáveis, mesmo que nesta última fora registrado um número expressivo de cicatrizes, tais categorias não puderam sozinhas definir e/ou estabelecer a ocorrência dos escorregamentos observados. Portanto, tal constatação levou-se a concluir que sobre o domínio de ambas as classes, os tipos de usos, cobertura e ocupação da superfície devem ser considerados como possíveis fatores de deflagração dos escorregamentos.

6.4 Zoneamento de Risco a Escorregamentos, para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, a partir da sobreposição do mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície com o mapa de Índices de Estabilidade.

Condizente a um dos objetivos gerais desta pesquisa, o Zoneamento de Áreas de Risco a Escorregamentos, para as Bacias Hidrográficas escolhidas como área de estudo, se estruturou na aplicação de uma metodologia totalmente fundamentada na utilização de produtos cartográficos, altimétricos e demais parâmetros, que fossem de fácil obtenção e acesso, e por sua vez, não necessitassem de muitos recursos humanos e financeiros, para que se obtivessem resultados satisfatórios e condizentes com o que se evidencia perante a realidade observada na área de estudo.

Com isso, encontra-se exposto na Figura 60, o produto cartográfico relativo às áreas de risco a escorregamentos, definidas para os limites da BHRH e da BHRP.

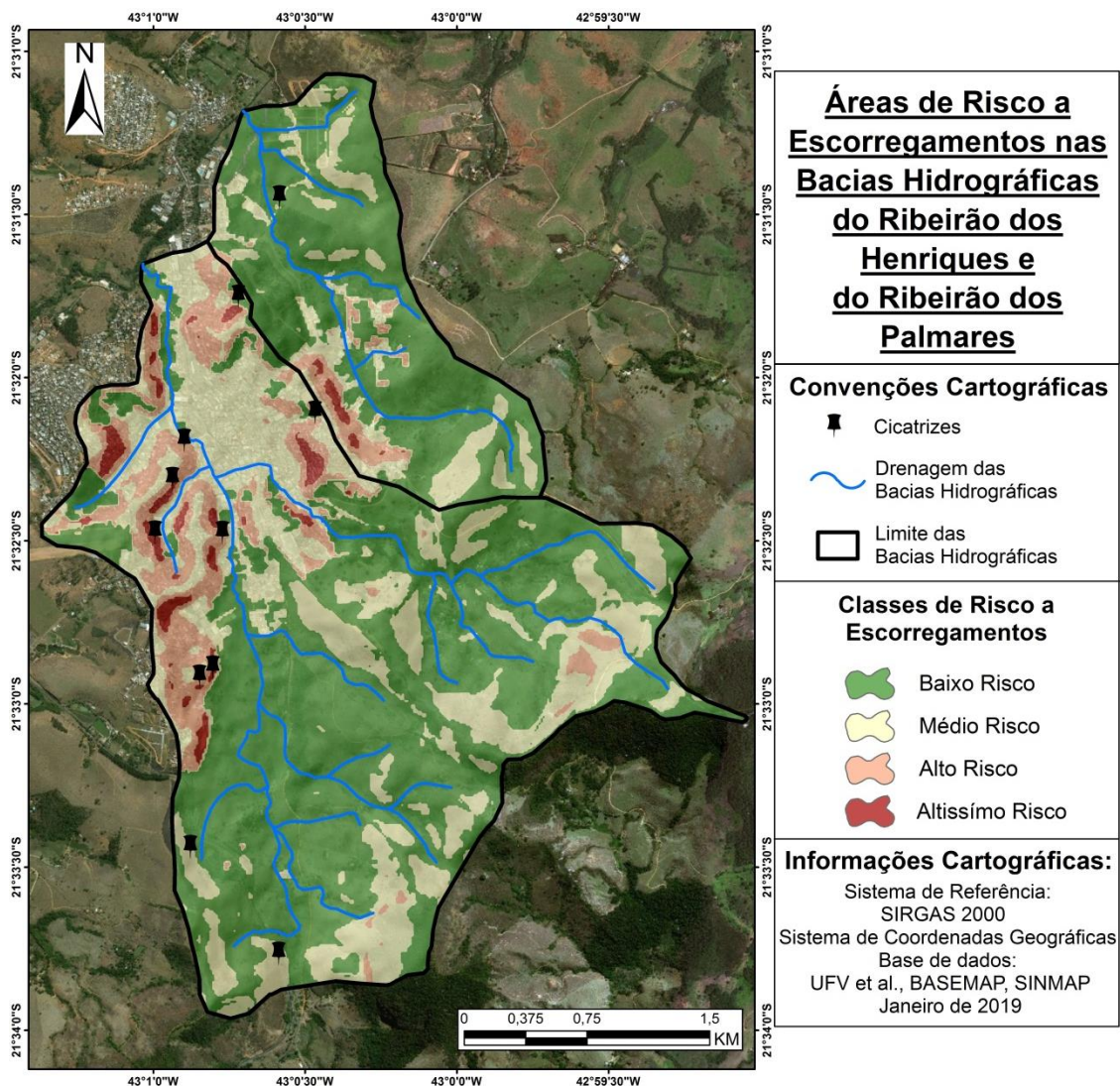


Figura 60: Espacialização das Classes de Risco a Escorregamentos para os limites das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares, com as cicatrizes de escorregamentos existentes.

Analisando o Mapa de Risco a Escorregamento para o limite das Bacias Hidrográficas estudadas, destaca-se que o mesmo foi classificado em 4 (quatro) classes de risco, onde 2 (duas) categorias se colocam como favoráveis ao perigo, 1 (uma) considerada de risco intermediário e 1 (uma) classe representando áreas de menores riscos à escorregamentos.

Visualmente, observa-se que a classe referente às áreas de menor risco foi a que apresentou maior evidência dentro da área estudada. A aparição da mesma se deu majoritariamente nas regiões de planícies, em locais com pequenos valores de declividade, que não tivessem a presença de fatores sociais, como por exemplo, Áreas Urbanizadas, e localidades com baixo ou nenhum investimento econômico associado.

Na sequência, constatou-se que nas regiões onde foram registradas as aparições da classe definida como de “Médio Risco” a episódios de escorregamentos, correspondeu também às áreas com baixos valores de inclinação do terreno, porém, estando estas localidades associadas concomitantemente à locais de ocupação humana, em áreas de expansão urbana e espaços com algum tipo de aplicação econômica (Área de Cultivo e Pastagem).

Já as classes de maiores riscos correspondem a espaços com médios e elevados índices de declividade, que, por sua vez, estão correlacionados a fatores de uso, cobertura e ocupação da superfície, considerados de média ou alta significância, com destaque para as áreas ocupadas.

Com o interesse em mensurar a espacialização das categorias observadas no mapa de risco apresentado na Figura 60, criou-se a Tabela 16, contendo a extensão de cada uma das classes de risco e também o quantitativo de episódios de escorregamentos pretéritos foram observados em cada uma das 4 (quatro) classes.

Tabela 16: Quantitativo das áreas e porcentagem, para cada classe de risco a escorregamento, observadas no mapa de Áreas de Risco nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.

Áreas de Risco	Altíssimo Risco	Alto Risco	Médio Risco	Baixo Risco	TOTAL
Área (km²)	0,2	1,0	3,0	5,95	10,15 km²
Porcetagem (%)	2	9,85	29,55	58,6	100%
Cicatrizes	5	3	3	0	11

Mediante a observação da Tabela 16, verifica-se que assim como percebido de maneira visual, a classe de “Baixo Risco”, foi a de maior percepção, e logo, destacou-se como a maior área observada dentro dos limites das Bacias Hidrográficas em questão. Tal classe foi

notada em 5,95 km², o que corresponde a quase 58,6% do total da área. Em compensação, no decorrer desta, não foi registrada nenhuma cicatriz de escorregamento.

Dando seguimento, tem-se a classe considerada “Médio Risco”, a qual pode ser vista como a de segundo maior tamanho, contemplando uma área de 29,55%, ou em 3,0 km². Nesta categoria, portanto, foram catalogadas 3 (três) cicatrizes de escorregamentos.

Diante das duas classes consideradas de elevado risco, a de maior dimensão observada para os limites das BHRH e BHRP, foi a de “Alto Risco” equivalendo-se à 1,0 km² dos 10,15km² da área. A referida classe, também se enquadra como a segunda categoria de maior número de registros de escorregamentos mapeados, sendo verificadas 3 (três) das 11 (onze) cicatrizes.

O último grupo que necessita de análise, conforme Tabela 16, é condizente as localidades definidas como de “Altíssimo Risco”. Tal classe, se caracteriza como a de menor destaque no quantitativo e percentual de área ponderada, retratando um total de 0,2 km² e 2%, respectivamente. Por outro lado, tal categoria se coloca como a de maior relevância quando se atenta para a ocorrência dos escorregamentos catalogados. Dos 11 (onze) registros 5 (cinco) deles encontram-se posicionados sobre a referida.

Como resultado perante a observação da Figura 60 e verificação da Tabela 16, é possível afirmar que as áreas identificadas como “Alto” e “Altíssimo” Risco a Escorregamentos, tiveram uma correlação muito forte com os locais onde foram registrados eventos pretéritos dentro da área de estudo.

Tal constatação nos leva a acreditar que tanto o método de “sobreposição ponderada”, bem como os pesos e notas adotados para ambos materiais cartográficos utilizados, foram bem sucedidos, credenciando assim o produto que aqui se expõe e dando legitimidade à metodologia e procedimentos metodológicos adotados para se ter um Zoneamento das Áreas de Risco apropriado e concordante com a realidade observada nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares.

Referente à aplicação da técnica de sobreposição ponderada, foi possível observar que a mesma apontou alguns resultados significativos, no que se refere, à interposição das classes de uso e cobertura da superfície sobre o mapa de Índices de Estabilidade das encostas gerado pelo modelo SINMAP.

Disposto a destacar e descrever a influência que os variados tipos de usos e cobertura da superfície exercem na definição e delimitação de áreas de risco a escorregamentos, quando estes são correlacionados aos parâmetros físicos e geomorfológicos existentes na área investigada, colocou-se lado a lado o antes (Índices de Estabilidade gerados pelo modelo

SINMAP) e depois (Zoneamento de Risco a Escorregamentos) da sobreposição do Mapa de Uso, Cobertura e Ocupação (Figura 61). A partir deste comparativo, foi possível fazer alguns apontamentos interessantes relativos aos resultados que aqui vem se discutindo.

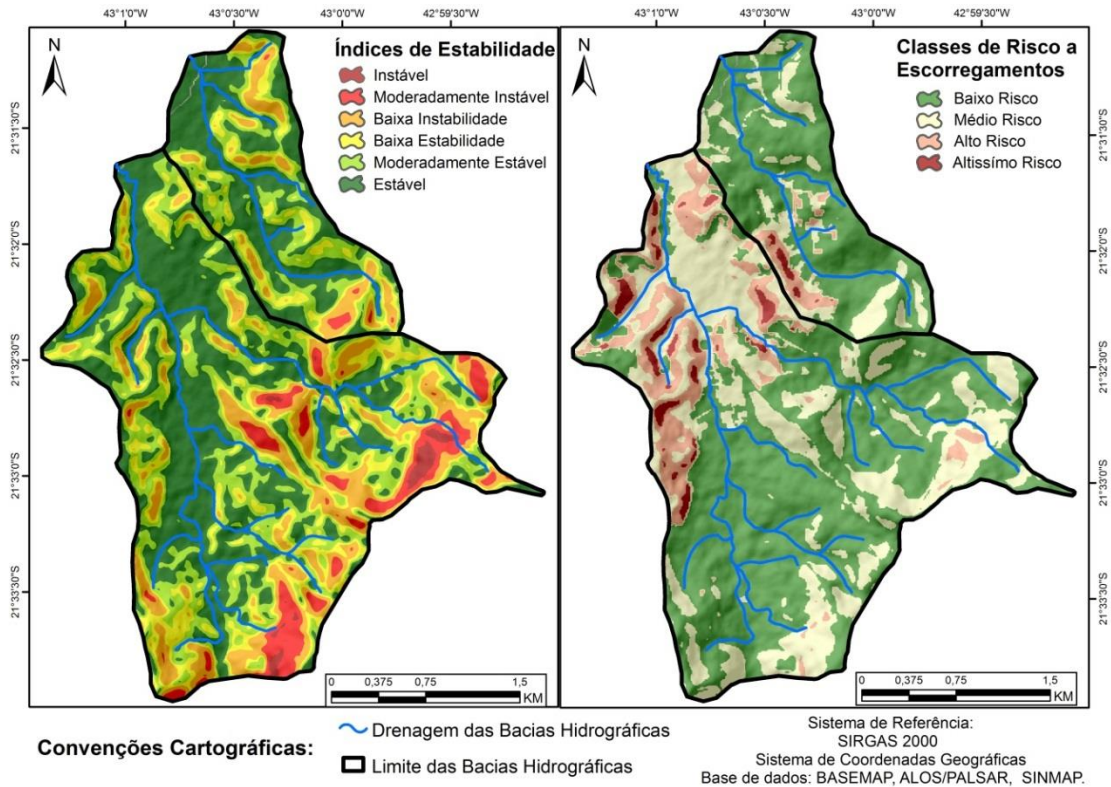


Figura 61: Comparativo entre Mapa de Índices de Estabilidade e as Áreas de Risco a Escorregamentos para as Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e Ribeirão dos Palmares.

Ressalta-se inicialmente, que diversas regiões apontadas pelo modelo como áreas de baixos índices de estabilidade, ao serem correlacionadas com classes de uso que foram julgadas como relevantes para a caracterização do risco, como por exemplo, Área Urbanizada, Área de Expansão e Área Agrícola, tais espaços foram caracterizados como de médio e alto risco a escorregamentos.

Tomando como base as três classes de usos apontadas no parágrafo anterior, observou-se que as mesmas exerceram forte influência para a determinação de áreas de “Alto” e “Altíssimo” risco, em várias localidades onde estas foram observadas. Com destaque inclusive, para regiões onde os Índices de Estabilidade não foram identificados como de altas instabilidades.

A título de exemplificação, tem-se a região situada mais a Noroeste da área pesquisada, onde nesta encontra-se estabelecida grande parte da população residente. Então, ao ter o mapa de uso e cobertura confrontado com os índices de estabilidade ali existentes, teve-se como resultados uma região com uma concentração expressiva de classes consideradas de “Médio”, “Alto” e “Altíssimo” risco (Figura 62).



Figura 62: Exemplo de uma área considerada de “Altíssimo Risco”, a partir da correlação entre os tipos de uso e cobertura da superfície e os Índices de Estabilidades definidos pelo modelo SINMAP.
Localização: Bairro Santa Terezinha.

Assim como foi observado à existência de áreas de alto e altíssimo risco a escorregamentos, sobre classes com índices de estabilidade foram considerados estáveis, em contrapartida, destacaram-se também espaços que, definidos pelo modelo SINMAP como de médio e alto índice de instabilidade, ao serem correlacionados com os tipos de usos, obteve-se como produto final, locais definidos como de “Baixo” Risco (Figura 63). Tal constatação pode ser contemplada nas regiões próximas aos perímetros das Bacias Hidrográficas, com destaque para as faixas mais ao Sul e Nordeste da área.

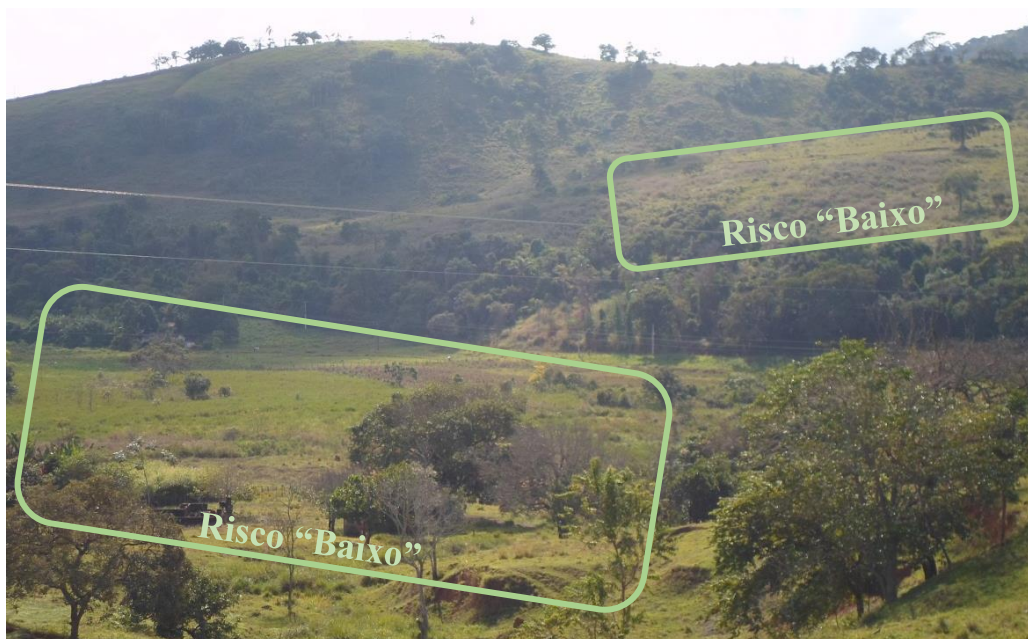


Figura 63: Exemplo de uma região onde se pode observar classes de “Baixo” Risco, a partir da correlação entre os tipos de uso e cobertura da superfície e os Índices de Estabilidades definidos pelo modelo SINMAP.
Localização: próximo ao trevo de acesso à cidade de São João Nepomuceno.



Figura 64: Exemplo de uma área considerada de “Médio” Risco, dentro do espaço urbano, a partir da correlação entre os tipos de uso e cobertura da superfície e os Índices de Estabilidades definidos pelo modelo SINMAP. Localização: Bairro Santo Antônio.

Diante ao exposto, foi possível concluir que durante o processo de construção do Zoneamento de Risco a Escorregamento para a área das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques e do Ribeirão dos Palmares, os diferentes tipos de uso e cobertura da superfície da área mapeada, se colocaram com um importante fator na disposição e ordenação das classes de risco constatadas no decorrer da área estudada.

Neste sentido, acredita-se que ao serem compreendidos como um fator de grande interferência para a deflagração dos escorregamentos, os diferentes tipos de uso e cobertura da superfície, devem sempre ser considerados e inter-relacionados aos processos de modelagem do relevo. Portanto, vale ressaltar que a mensuração e quantificação do quanto os tipos de usos interferem na ocorrência dos escorregamentos, por exemplo, são constantemente contestados e tidos como alvo de críticas no meio acadêmico e científico.

Admitindo-se que tal dificuldade mencionada existe, e que esta, se torna inerente ao estudo que aqui se desenvolve, acredita-se que uma saída para a atenuação deste problema, seja a aplicação de variadas técnicas de correlação entre as variáveis, empregadas simultaneamente a uma análise, investigação e conhecimento da área estudada. A partir disso, julga-se tais procedimentos como admissíveis para a investigação e delimitação de áreas de risco a escorregamentos.

Neste estudo, foi possível interpretar que as classes identificadas como de “Alto” e “Altíssimo” risco apresentam grandes probabilidades de incidentes decorrentes de processos morfodinâmicos. Neste caso, ligados principalmente a ocorrência de escorregamentos

translacionais rasos, constatou-se que das 11 (onze) cicatrizes de escorregamentos observadas nos limites da área de estudo, 8 (oito) delas foram identificadas sobre ambas as classes que aqui se discute (Tabela 16).

Diante da constatação onde mais de 70% dos eventos de escorregamentos pretéritos ocorreram sobre as classes de “Alto” e “Altíssimo” risco, torna-se aqui factível afirmar que tais localidades se caracterizam como sendo áreas potenciais a se verificar futuros episódios de escorregamentos. Portanto, estando tais áreas, correlatas às classes de uso social, os danos e prejuízos podem estar relacionados desde valores econômicas, financeiros e estruturais, até perda humana, relativa à morte de indivíduos.

Em tempo, vale ressaltar que na classe definida como de “Médio” risco a ocorrência de escorregamentos, a probabilidade de ocorrência do referido evento, é menor que nas classes superiores, porém, ela existe e está intimamente ligada aos tipos de uso e cobertura da superfície existente sobre determinada localidade. Tal afirmação, pode ser corroborada mediante ao registro de 3 (três) episódios de escorregamentos, os quais foram observados ao longo da referida classe.

Neste sentido, como já abordado anteriormente, os tipos de usos exercem grandes influências sobre a definição de uma área como de alto risco ou não, como estes são mutáveis e se transformam com certa frequência em curtos espaços de tempo, qualquer alteração (seja ela mínima), pode remodelar completamente a análise feita até aqui, fazendo com que uma classe anteriormente classificada como de risco “Médio”, passe a ter uma nova caracterização, para melhor ou para pior.

Com isso, aponta-se que para a delimitação de áreas de risco, é fundamental que o mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície seja frequentemente atualizado e represente com nitidez e clareza a realidade observada sobre a área de interesse, evidenciando assim no resultado final, toda e qualquer modificação recentes que foi realizada no espaço.

Por fim, vale destacar com relação à classe definida como de “Baixo” risco ao registro de escorregamentos, que as mesmas apontam para áreas com baixas probabilidades de ocorrência do evento aqui investigado. Porém, partindo do princípio que “não existe o risco zero”, torna-se de grande importância para tal categoria, uma fiscalização e o controle consistente, evitando assim que possíveis intervenções abruptas no espaço, não modifiquem ou alterem o nível de seguridade da mesma.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estruturada sobre dois principais objetivos gerais, os quais conduziram e orientaram o desenvolvimento desta pesquisa, reconheceu ao final deste trabalho, mediante ao que se observou ao longo dos resultados, que as metas traçadas foram atendidas de maneira absoluta e satisfatória.

Inicialmente, o primeiro objetivo se fundamentou na análise comparativa e estatística entre os produtos altimétricos provenientes dos sensores PALSAR (menor resolução) e LiDAR (maior resolução), a fim de aferir e estimar a qualidade do produto altimétrico do primeiro sensor, na identificação de áreas que possuem probabilidade à ocorrência de escorregamentos. Assim foi constatado que apesar de não ter a mesma acurácia que o LiDAR, o MDE presente no sensor PALSAR/ALOS, apresentou uma boa resposta, e uma considerável semelhança entre seus produtos, com uma espacialização análoga entre as classes dos mapas de Saturação, Declividade e de Estabilidade de Encosta.

Tal condição de semelhança, nos resultados, foi corroborada diante dos resultados obtidos a partir da análise estatística. Baseados nos valores encontrados por meio do Coeficiente de Determinação (R^2) e do Coeficiente de Correlação de Pearson (r), bem como dos erros por meio do Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Médio Relativo (EMR) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), observou que ambos os produtos apresentaram forte similaridade entre seus pares.

Diante destas respostas, reconheceu o MDE do sensor PALSAR/ALOS como um material conveniente a ser aplicado na identificação de áreas de risco a escorregamentos em locais onde não se dispõem de uma base de dados detalhada. Assim, considerou tal produto altimétrico como válido e útil, para ser utilizado na pesquisa que aqui foi desenvolvida.

Tendo verificado a validade e eficiência do sensor PALSAR, o segundo objetivo geral se baseou na utilização e aplicação do produto altimétrico do referido sensor, para o Zoneamento de Áreas de Risco a Escorregamentos da área de interesse, situada nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Henriques (BHRH) e do Ribeirão dos Palmares (BHRP), localizadas no município de São João Nepomuceno-MG.

Inicialmente elaborou-se um mapa com os tipos de Usos, Cobertura e Ocupação existentes na área delimitada, com destaque para as classes de Pastagem e Área Urbanizada como as de maiores dimensões, cobrindo 58,1% e 24,7% do total da área, respectivamente. Na sequência com a aplicação do modelo SINMAP, foi gerado o mapa com os Índices de Estabilidade definidos de acordo com os parâmetros pedológicos e geomorfológicos presentes

nas bacias, foi então constatado, que os índices de estabilidade e as classes de declividade tiveram grande correlação, estando às áreas caracterizadas com maiores índices de instabilidade, em locais que apresentaram maiores valores de declividade, e em regiões identificadas com baixos índices de instabilidade (áreas estáveis) foi possível verificar a presença de baixos valores de inclinação no terreno.

Como resultados, foi possível destacar que o Zoneamento de Áreas de Risco, gerado a partir do método de Sobreposição Ponderada, entre o mapa de Índices de Estabilidade e o mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da superfície, apresentou respostas contundentes na identificação das áreas de risco a escorregamento nas Bacias Hidrográficas investigadas, uma vez que, ao se analisar as cicatrizes de escorregamentos pretéritos existentes na área, grande parte delas foram evidenciadas sobre regiões consideradas de “Alto” ou “Altíssimo” Risco a ocorrência de escorregamentos.

No Zoneamento de Áreas de Risco, gerado a partir do método de Sobreposição Ponderada, destacou-se que o mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da superfície mesmo dispondo um peso menor, com relação ao peso dado ao mapa de Índices de Estabilidade (modelo SINMAP), este foi julgado como um fator preponderante na disposição e ordenação das classes de risco verificadas na área de estudo.

Chegou-se a tal constatação visto que, antes de ser correlacionado com o mapa de Uso, Cobertura e Ocupação da área, o mapa contendo os Índices de Estabilidade mostrou que tanto nas áreas consideradas como estáveis, quanto nos locais julgados como instáveis, foram observados e identificados registros de cicatrizes de escorregamentos. Porém, após a sobreposição entre ambos os produtos cartográficos, já com a disposição das classes de risco, testemunhou que todas as 11 (onze) cicatrizes de escorregamentos catalogadas, foram constatadas sobre as classes definidas como sendo de maior risco.

Portanto, a partir da percepção da importância dos diferentes tipos de Uso, Cobertura e Ocupação da superfície para a deflagração dos escorregamentos observados na área, propõe-se que tal produto deva estar sempre atualizado, sendo constantemente utilizado como parâmetro importante para a gestão e ordenamento territorial, devendo sempre ser considerados e inter-relacionados aos processos de modelagem e alterações no relevo.

Como formas e ações que visam minimizar os riscos nas áreas que se destacaram, cita-se de maneira imediata, a realização de obras de controle e contenção das vertentes consideradas de maiores riscos, por meio da criação de muros de arrimo, muros com contenção de pedras, controle da infiltração de água no solo, manejo dos canais e linhas de drenagem, manutenção de bueiros, redução de erosões, etc.

Recomenda-se para médio prazo, a remoção e realocação de famílias, por parte do governo e administração, que se encontram situadas sobre áreas extremamente críticas à ocorrência de escorregamentos, a fim de se evitar possíveis danos e prejuízos às famílias que se encontram nestas localidades. A médio e longo prazo sugere-se um controle maior dos usos e ocupações por parte do poder público municipal, onde através das leis de uso e parcelamento do solo urbano (nacional, estadual e municipal) já estabelecidas, aumentem a fiscalização, proporcionando assim um maior controle ocupacional do espaço urbano, direcionando novas construções e moradias a se instalem em locais onde a instabilidade do relevo, e conseqüentemente o risco de movimentos de massa sejam considerados reduzidos.

Diante dos materiais utilizados, e da metodologia que foi aplicada para o desenvolvimento deste estudo, acredita-se que o mesmo se coloca como um modelo com diversas contribuições para a identificação de áreas de risco a escorregamentos, principalmente, para ser aplicado em áreas ou localidades com reduzida base de dados e informações que deem sustentação para se realizar uma análise voltada para a investigação e identificação de áreas de riscos, envolvendo não só escorregamento, mas qualquer outro tipo de movimento de massa.

Somado às contribuições da metodologia que aqui foi apresentada para a elaboração desta pesquisa, vale destacar que toda ela foi realizada sem grandes custos e onerações. O trabalho aqui desenvolvido foi baseado no emprego de materiais e métodos gratuitos e acessíveis para pesquisas acadêmicas, sendo estes passíveis de serem utilizados e admitidos por gestores e administradores do espaço público. Neste caso, desde o produto altimétrico do sensor PALSAR/ALOS, perpassando pelas análises de solos e pelos *softwares*, até findar nas imagens de satélite do *World Imagery Basemap*, para a criação do mapa de uso, cobertura e ocupação da superfície da área de estudo, os gastos neste trabalho, foram apenas para a compra dos objetos para a coleta dos solos e com deslocamentos até a área de estudo.

Por fim, considera-se que esta pesquisa, apesar de apresentar uma natureza muito técnica no que se refere aos produtos gerados para a identificação de áreas propensas a escorregamentos, teve-se também no desenvolvimento desta, a preocupação de apresentar um recorte teórico-descritivo pautado no interesse em contribuir com a ampliação e publicização do conhecimento relativo à parte da história de São João Nepomuceno. No tocante, foram expostos documentos e referências que descreveram, desde a trajetória e percalços que levaram São João Nepomuceno a se tornar município, até os movimentos e acontecimentos históricos que ajudaram a explicar e entender como se deu a formação do espaço urbano da sede municipal são-joanense.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AB’SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editora, 2003p

AHRENDT, A. **Movimentos da massa gravitacionais – proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 2005. 360 p.

ALENCAR, L.P.; SEDIYAMA, G.C.; WANDERLEY, H.S.; ALMEIDA, T.S.; DELGADO, R.C. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v.19. n.5, Set/Out, 2011.

ALMEIDA JUNIOR, N. L. de. **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica**. 2005. 94p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Cuiabá, MT, Brasil. 2005.

ALVES, E.; SOUZA, G. da S. e; MARRA, R. Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, ano 20, n. 2, p. 80-88, abr./jun.2011.

ALVES, R de S. **Interações entre fatores e elementos do clima no percurso Ponte Nova–Viçosa–Ubá, Zona da Mata Mineira: identificação de diferentes ambientes termohigrométricos**. 79f. Dissertação (Monografia em Geografia). Departamento de Artes e Humanidades – Curso de Geografia, UFV, 2015.

ANDRADE, A. M. S. B. **Atlas Digital do Estado de Minas Gerais**. 2006.

ANJOS, R.S.; NÓBREGA, R.S.; CANDEIAS, A.L.B. Possíveis causas para erros de estimativas do satélite TRMM – estudo e caso na microrregião de Itaparica-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, Jul/Dez, 2017.

ANTONELLO, S.L. **Um sistema de planejamento e gestão para bacias hidrográficas com uso de análise de multicritérios**. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

AQUINO, C. M. S.; VALLADARES, G. S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Revista Geografia (Londrina)**, v.22, n.1, p.117-138, jan./abr, 2013.

ARAÚJO, P. C. de. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística**. 2004. 172f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

ASPIAZÚ, C.; ALVES, L. M.; VALENTE, O. F. Modelos Digitais de Terrenos Conceituação e Importância. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 21, p.27-36, dez. 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), (2016) **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas -

Procedimento. Rio de Janeiro, 09p.

_____, (1986) NBR 6457 – Amostras de Solo – Preparação para ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, 09p.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3080: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.** 1998.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: 1992, p.721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de riscos de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP.** 1994. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de solos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AUGUSTO FILHO, O. e VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N. A. (Eds.) Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, p. 243-269, 1998.

AYER, A. J. **El positivismo lógico.** México, Fondo de Cultura Económica. 1978.

BACELAR, W. K. de A. Pequena cidade: caracterização e conceituação pelo ponto de vista político-administrativo. In: **Anais do XVI encontro Nacional de Geógrafos**, realizado de 25 a 31 de julho de 2010, Porto Alegre.

BAMBIRRA, V. **Êxodo Rural e Êxodo Urbano: A luta pela reforma agrária no Brasil.** Disponível em: <http://reggen.org/publicacoes/textos-para-discussao/44-exodo-rural-e-exodo-urbano-a-luta-pela-reforma-agraria-no-brasil-vania-bambirra> Acessado em: 15 de dez. 2017.

BARBOSA, V.; NASCIMENTO JUNIOR, A. Paisagem, Ecologia Urbana e Planejamento Ambiental. **Revista Geografia (Londrina)**, v. 18, n. 2, p. 21-36, 2009.

BARROS, R. S.; COELHO, A. L.; OLIVEIRA, L. F.; MELO, M. F.; CORREIA, J. D. Avaliação Geométrica de Imagens ALOS/PRISM Níveis 1B2G e 1B2R Ortoretificada – estudo de caso: Itaguaí, RJ. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 14..2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1243-1250. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.47/doc/173-1738.pdf> Acesso em: 13 set. 2017.

BECK, U. **Risk Society**, SAGE publications, London, 1992.

BITAR, O. Y. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) – Instituto de Pesquisa Tecnológica, Divisão de Geologia, 1995.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. **Lei no. 6766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. In: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1979.

BRASIL. **Capacitação em Mapeamento e gerenciamento de riscos.** Ministério das Cidades. 2007. OGURA, A.T.; MACEDO, E.S.; MIRANDOLA, F.A.; YOSHIKAWA, N.K.; CORSI, A.C.; CANIL, K.; GRAMANI, M.F.; SILVA, F.C. (orgs.). Brasília, Ministério das Cidades, IPT. 122p.

BRITO, M. M. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 167 p.

BRÜSEKE, F. J. **Risco social, risco ambiental, risco individual.** Ambiente & Sociedade. Campinas, v. 1, n. 1, p. 117-134, 1997.

BUENO, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, 1998, 207p.

BUSTAMANTE, T. G. C. **Impactos da chuva na ocorrência de deslizamento de terra e inundações no estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia – INPE. São José dos Campos, 2010.

CASTRO, A. L. C. de.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. da C. **Manual de desastres: desastres naturais.** Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003, 174p.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. **Conceitos e Termos para a Gestão de Riscos de Desastres na Educação.** Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/deslizamentos>>. Acesso em 05 de maio de 2017.

CERRI, L.E.S.; AMARAL, C.P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A.M.S. e BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

CERRI, L.E.S. **Subsídios para a seleção de alternativas de medidas de prevenção de acidentes geológicos.** 2001. 78f. + anexos. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CHIBENI, S. S. **Observações sobre as relações entre a ciência e a filosofia.** Semana da Física do Instituto de Física Gleb Wataghin, v. 1, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A., 1980. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999

CHRISTOPHERSON, R. **Geossistemas: uma introdução à geografia física.** 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COSTA, V. P. da. Instrumentos para regularização fundiária em APP's. **Revista Brasileira de Direito Constitucional**. n.21 – jan./jun. 2013. Disponível em: <http://esdc.com.br/seer/index.php/rbdc/article/viewFile/17/17>. Acessado em 29 de jan. de 2016.

COSTA, R. M. **Avaliação de Probabilidade e Risco à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera, Juiz de Fora-MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, 2016a.180p.

COSTA, S. M. F. **A crise da "Companhia Fiação e Tecidos Sarmento": memórias e narrativas operárias (São João Nepomuceno/MG, 1960-1971)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências Humanas e Filosofia. Departamento de História, 2016b. 136p.

COUTINHO, Mauricio C. Economia de Minas e economia da mineração em Celso Furtado. **Nova economia**. Belo Horizonte, v. 18, n. 3, Dezembro/2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010363512008000300002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 5 julho 2017.

CRUDEN, D. M. **A simple definition of a landslide**: Bulletin International Association Engineering Geology. Vol. 43. pp. 27-29, 1991.

CRUDEN, D. M. **The first classification of landslides?** Environmental & Engineering Geoscience, v. IX, n. 3, p. 197-200, 2003.

CRUDEN, D.M. e VARNES, D.J. (1996) Landslide Types and Processes. In: TURNER, A.K.; SHUSTER, R.L. (eds), **Landslides Investigation and Mitigation**. Transportation Research Board Special Report 247. National Research Council, Washington DC, p.36-75.

DA SILVA, J. P.; DA SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P. Aplicação de dois métodos físico-matemáticos para avaliação do índice de estabilidade das vertentes da Bacia do Rio Ribeirão/Paranaguá-PR. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 1291-1302, 2012.

DANA, J. D. **Manual of Geology Treating of the Principles of the Science with Special Reference to American Geological History for the Uses of Colleges**. Academies and Schools of Science: Theodore Bliss. Philadelphia. 1864. 800 p.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Coleta de amostras deformadas de solos**, DNER - PRO 003/94. Rio de Janeiro: 1994a. 4p.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. ME 051: **Solos – Análise granulométrica**. São Paulo, 1994b.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. ME 093: **Solos – Determinação da densidade real**. São Paulo, 1994c.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. ME 082: **Solos – Determinação do limite de plasticidade**. São Paulo, 1994d.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. ME 122: **Solos – Determinação do limite de liquidez – Método de referência e método expedito**. São Paulo, 1994e.

DOS SANTOS, V. J.; ROCHA, G.C.; ANDRADE, F. A. O Conceito de Risco. **Revista de Geografia – PPGEO - UFJF**. Juiz de Fora, v.5, n.1, (Jan-Jun) p.33-42, 2015.

DOURADO, F.; ROIG, H. Mapas de susceptibilidade a escorregamentos rasos, usando os modelos SHALSTAB e SINMAP, da Bacia do Rio Paquequer-Teresópolis–RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais-CADEGEO**, v. 4, n.01, p.56-66, 2013.

DOYLE, F.J. Digital terrain models: an overview. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1481-1485, 1978.

DREW. D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo, Difel, 1986.

FERNANDES, G. **Caracterização geológico-geotécnica e proposta de estabilização da encosta do Morro do Curral - Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto**. 2000. 136p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 2000.

FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 209-247, 2016.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P.; Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 123-194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Teoria, Evidências de Campo e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, no. 1, p. 51-71, 2001.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo : Oficina de Textos, 2011.

FREIRE, E. S. de M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática**. Construção, Rio de Janeiro, 8(95): 10-18. 1965.

GLADE, T.; CROZIER, M. J. The nature of landslides hazard impact. In: GLADE, T.; ANDERSON, M.; CROZIER, M. J. (Eds.) **Landslide Hazard and Risk**. John Wiley and Sons, Chichester: 2005. Cap 2, p. 43-74.

GONÇALVES, N. M. S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador**. In: Monteiro, Carlos Augusto Figueiredo & Mendonça, Francisco Clima Urbano, Contexto, São paulo, p 69-91, 2003.

GRAEFF, O. R. Licenciamento Ambiental Urbano. In:_____. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap. 1, p. 189-226.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In._____. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap. 1, p. 13-39.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: EDUSP/Edgard Blücher. 1976. 170p.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. Models, paradigms and the new Geography. In: CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. (Ed.). **Models in Geography**. Londres: Methuen e Co., 1967. p. 19-41.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na Região Metropolitana de São Paulo com o Modelo ARPS: sensibilidade a variações como os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, 591-608, 2011.

HARVEY, D. **Explanation in Geography**. Londres: Edward Arnold, 1969

HEILBRON, Monica et al. Província mantiqueira. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203-235, 2004.

HIGHLAND, L.M; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008, 129p.

HUTCHINSON, J. N. **General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology**. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides. Lausanne: A. A. Balkema, 1988. p.3-35.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros (vocábulo São João Nepomuceno)**. vol. XXVII, Rio de Janeiro: IBGE, 1959a

_____. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros (vocábulo Rio Novo)**. vol. XXVII, Rio de Janeiro: IBGE, 1959b.

_____. **Área Territorial Oficial**. (2002). Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm. Acessado em: 11/07/2017.

_____. 2006. **IBGE como Sub-nó de distribuição de Imagens do Satélite**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/confest_e_confefe/pesquisa_trabalhos/CD/palestras/574-1.pdf. Acesso em: 13 set. 2017.

_____. 2008. **ALOS características e aplicações**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/confest_e_confefe/pesquisa_trabalhos/CD/palestras/574-1.pdf. Acessado em: 13 set. 2017.

_____. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acessado em: 5 jan. 2018.

_____. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009.

JAPIASSU, H., MARCONDES, D., (1990). **Dicionário básico de filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LAURENCELLE, J.; LOGAN, T.; GENS, R. **ASF Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products**. ASF-Alaska Satellite Facility, 1. v. 1, p. 12, 2015. Disponível em: <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/terrain-corrected-rtc/> Acessado em: 12/07/2018.

LISTO, F. L. R.. Modelos matemáticos aplicados à previsão de escorregamentos translacionais rasos: exemplos em áreas naturais e de risco. **CLIO Série Arqueológica (UFPE)**, v. 31, p. 91, 2016.

LOPES, E.S.S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1:10.000**. 2006. Tese (Doutorado) - IGCE/UNESP, Rio Claro. 2006

LOWY, M. **As aventuras de Karl Marx contra o Barão de Múchhausen: marxismo e positivismo na sociologia do conhecimento**. 5ª ed. São Paulo, Ed. Busca Vida, 1987. 220p.

MACHADO, H.T. **Evolução Geológica do Complexo Quirino, Terreno Paraíba do Sul, Setor Central da Faixa Ribeira, com base em dados isotópicos de Sm-Nd e Sr**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro. 2010.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. **Cadernos Didáticos n.1**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Santa Maria, 38p, 2008.

MARTINI, L.C.P.; UBERTI, A.A.A.; SCHEIBE, L.F.; COMIN, J.J.; OLIVEIRA, M.A.T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão

multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 1, p. 41-52, Jul. 2006.

MATTEDI, M. A.; BUTZKE, I. C. A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. **Ambiente & Sociedade**, n. 9, jul./dez., 2001, p. 1-22. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/asoc/v4n9/16877.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MEDINA, P.R.G. São João Nepomuceno: um pouco de sua história. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico de Juiz de Fora**, n. 14, p. 41-74. Juiz de Fora, 2010.

MENON JÚNIOR, W. **Evolução Temporal das Áreas de Risco à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung - Juiz De Fora/MG entre 1968 e 2010**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora. 2016.

MENON JÚNIOR, W.; ZAIDAN, R.T. Mapeamento de estabilidade de encostas: o caso da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (Juiz de Fora-MG). **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 6, n. 2, 2016.

MERCADANTE, Paulo. **Os sertões do leste. Estudo de uma região: A Mata Mineira**. Rio de Janeiro: Zahar, 1973.

MICHEL, G. P. **Estudo de Escorregamentos na Bacia do Rio da Cunha, Rio dos Cedros/SC, com modelos SHALSTAB E SINMAP**. 2011. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis, 2011.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Análise comparativa entre os modelos Shalstab e Sinmap na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais. **Anais**. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos: artigos selecionados. Porto Alegre: ABRH, 2012. Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ENES161.pdf>>. Acessado em: 06/11/2017.

MIKHAIL, E.M.; HELAVA, U.V.; JANCAITIS, J.R.; DOYLE, F.J.; HELMERING, R.J.; ACKERMANN, F.; TURNER, A.K. Panel discussion: the future of DMT. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.44, n.12, p.1487-1497, 1978.

MINAS GERAIS. **Projeto Sul de Minas** – mapeamento geológico (2003). Folha Juiz de Fora (escala 1:100.000). Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/> Acessado em: 20/11/2018.

MINAS GERAIS. **Decreto Estadual no. 44.646 de 31 de outubro de 2007**. Disciplina o exame e anuência prévia pelo Estado, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - SEDRU, para aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos de áreas para fins urbanos pelos municípios. In: Diário Oficial do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Série Teses e Monografias, nº25. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1976, 181p.

MONTEIRO, C. A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Revista Geosul**. Florianópolis, ano V, n. 9, p. 61-79, 1990.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Editora da UFSC, 241p., 1991.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, p. 1153-1171, 1994.

NELSON, A.; REUTER, H. I.; GESSLER, P. DEM Production Methods and Sources. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 31-64, 2009.

NERY, T. D. **Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na Bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP)**. (Dissertação). Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2011. 170p.

NOCE, C. M. et al. **Mapa geológico da Folha Manhuaçu (SF. 23-XB-III)**. Rio de Janeiro, CPRM/UFMG-Programa Geologia do Brasil, escala, v. 1, n. 100.000, 2006.

NOCE C.M., PEDROSA-SOARES A.C., SILVA L.C., ALKMIM F.F. O Embasamento Arqueano e Paleoproterozóico do Orógeno Araçuai. **Geonomos**, 15: 17-23, 2007.

NOGUEIRA, F.R. 2002. **Gerenciamento de Riscos Ambientais Associados a Escorregamentos: Contribuição às Políticas Públicas Municipais para Áreas de Ocupação Subnormal**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista. IGCE. Rio Claro-SP

OLIVEIRA, M. T. de. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2009. 279f.

OLIVEIRA, H. P. V. **Tutorial para obtenção, correções e interpolação (opcional) do Modelo Digital de Elevação (sensor PALSAR) do Satélite ALOS-1 de 2006 a 2011**. 2017. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/352325754/TutorialMDE-ALOS-1-Huascar-Vidal-v1>. Acesso em 10 fev. 2018.

PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. **Terrain stability mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00**. Report Number 4114-0, Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, Canada, 1998.

PACK, R. T.; TARBOTON D. G; GOODWIN C. N; PRASAD, A. A stability index approach to terrain stability hazard mapping, “**SINMAP user’s manual**”, 2005.

PECHINCHA, M. G. H. (2014). **Qualidade ambiental à partir do zoneamento de risco à ocorrência de escorregamentos na bacia do córrego Matirumbide, Juiz de Fora - MG**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

PERIN FILHO, C. I. 1995. **Introdução à simulação de sistemas**. Editora Unicamp.

PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. da S.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; ANJOS, L. H. C. dos. Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1384-1394, 2012.

POLIDORO, M; BARROS, M. V. F. Utilização de Geotecnologias no Suporte a Gestão de Políticas Públicas Municipais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Três Lagoas, n. 11, ano 7, 2010. Disponível em <<http://www.uel.br/projetos/atlasrml/publicacoes/periodicos/4.pdf>> Acessado em: 23 de set. de 2017.

PONTES, L. A. F. **São João Nepomuceno: dois séculos de história [internet]**. Juiz de Fora: Luiz Pontes. 2017, mai. Disponível em: <https://sjnhistoria.wordpress.com/2017/05/15/a-velha-e-a-nova-capelas-de-sao-joao-nepomuceno-parte-1-de-2/>. Acessado em: 13/07/2017.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA (PJF). **Sistema de Informações Geográficas de Juiz de Fora**. Secretaria de Planejamento e Gestão – SEPLAG. 2007. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/seplag/geoprocessamento/cobertura.php>. Acessado em: 10/02/2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO NEPOMUCENO (PMSJN). **Plano Diretor Participativo de São João Nepomuceno**. Lei Complementar nº 6, de 4 de Março de 2008. Disponível em: <https://www.saojoaonepomuceno.mg.leg.br/leis/leis-complementares/LeiComplementar06.pdf>. Acessado em: 29 jan. 2018.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PUJOL, D. S, PALOM, A.R.. **De la geografía de los riesgos a las geografías de la vulnerabilidad**. In: NOGUÉ, J. ROMERO, J. (org.) *Las otras geografías*. Valencia, Espanha: Tirant lo Branch, 2006.

QUINA, R. R. **Análise da influência de condicionantes geoambientais e urbanos sobre o comportamento térmico do município de Viçosa-MG, durante o período de Verão de 2014/15 e Inverno de 2015**. 105f. (Monografia em Geografia). Departamento de Artes e Humanidades – Curso de Geografia, UFV, 2016.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra**. Projeto Radambrasil v. 32 -. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. IBGE, 1983. 775 p.

RANGEL, E. **Minha Cidade Garbosa (São João Nepomuceno)**. Rio de Janeiro: Pongetti, 1972.

REBELO, F. **Riscos Naturais e Ação Antrópica: estudos e reflexões**, 2ª edição, Imprensa da Universidade, Coimbra, 2003.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Relatório Técnico Parcial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Dez. 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>. Acessado em: 17 nov. 2017.

RODRIGUES, S. C. **Mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos de Nova Friburgo-RJ por meio de inferência fuzzy e elaboração de cenários de alerta com uso do TerraMA2**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto - INPE, 2013.

RODRIGUEZ, T. T. **Proposta de Classificação Geotécnica para Colúvios**. 2005. 370p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, J. L. S.. **Ecogeografia do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. v. 1. 208p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e planejamento**. 8. ed., 3ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2010.

SÃO JOÃO NEPOMUCENO. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)**. São João Nepomuceno: 2014. 175p. Disponível em: <http://ceivap.org.br/saneamento/mineiros-2015/sao-joao-nepomuceno.pdf>. Acessado em: 5 jan. 2018.

SÃO JOÃO NEPOMUCENO. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB): P3 – CARACTERIZAÇÃO MUNICIPAL**. São João Nepomuceno: 2014. 175p. Disponível em: http://54.94.199.16:8080/publicacoesArquivos/arq_pubMidia_Processo_063-2013_SaoJoaoNepomuceno_CM.pdf. Acessado em: 5 jan. 2018.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, p. 43-60, dez./2005.

SANTOS, M. C. dos. **Urbanização e riscos ambientais na cidade de Salvador**. In: Revista territorium, 18, Associação Portuguesa de Risco, Coimbra, p. 13-20, 2011.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções-áreas de risco no Brasil**. São Paulo: Pini, 2012.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1996, 157 p.

SANTOS, M. C. dos; ROSA FILHO, Artur. Expansão urbana, ocupações de baixa renda e riscos ambientais na cidade de Boa Vista, RR/ Brasil. In: **Anais do III Congresso Internacional, I Simpósio Ibero-Americano, VIII Encontro Nacional de Riscos**. Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Guimarães, p. 67-71, 2014.

SANTOS, R.S.; COSTA, L.C; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; OLIVEIRA, R.A.; JUSTINO, F.B. Avaliação da relação seca/produtividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, 313-321, 2011.

SARAIVA, G.S.; BONOMO, R.; SOUZA, J.M. Avaliação de interpoladores geoestatísticos e determinísticos da evapotranspiração de referência diária para o estado do Espírito Santo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 1, p. 21-30, janeiro-março, 2017.

SASSA, K. **Geotechnical Classification of Landslides**. Landslide News, v.3, p.21-24, 1989.

SCHLICK, Moritz. **O fundamento do conhecimento**. São Paulo: Abril Cultural, 1975.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. Oxford: Oxford University Press, New York, 2003, 451p.

SESTINI, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM – Landsat e SIG**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2000.

SHARPE. C. F. S. **Landslides and Related Phenomena: A Study of Mass-Movements of Soil and Rock**. Columbia University Press. New York, 1938. 137 p.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 3.ed. São Paulo: Pearson Makron Books/McGraw-Hill doBrasil, 1993.

SILVEIRA, R. M. P.; DA SILVEIRA, C. T. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição. **Boletim de Geografia**, v. 33, p. 106-121, 2015.

SISCOOTTO, R. A.; RAPOSO, A. B.; TORI, R.; SZENBERG, F.; CELES, W.; GATTASS, M. Estereoscopia. In: Romero tori; Claudio Kirner; Robson Siscoutto. (Org.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. 1ed.: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006, v. 1, p. 221-245.

SOUZA, S. O.; FOLHARINI, S. O.; SALGADO, G. P. L.; OLIVEIRA, R. C. Uso de imagens ALOS-PALSAR para mapeamento da declividade do litoral norte paulista. In: Seminário Nacional de Gestão Sustentável de Ecossistemas Aquáticos: gestão ecossistêmica de zonas costeiras no Brasil, 2017, Cabo Frio. **Anais do Seminário Nacional de Gestão Sustentável de Ecossistemas Aquáticos: gestão ecossistêmica de zonas costeiras no Brasil**, 2017. v. 1. p. 77-84.

SPOSITO, M.E.B. **Para pensar as pequenas e médias cidades brasileiras**. Belém: FASE; ICSA/UFPA; Observatório COMOVA, 2009.

SULAIMAN, S. N.¿ **De que vale? El papel de la educación para la prevención de desastres naturales**. 2014. 283f. Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, em regime de cotutela com o Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales da Universidad de Alicante. São Pulo/Alicante: s.n., 2014.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: por que ocorrem?. In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo, 2009a.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo, 2009b.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1990 a 2010: volume Minas Gerais**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011. 95p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV); Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC); Universidade Federal de Lavras (UFLA); Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.

VALLADARES, C. S. **Evolução Geológica do Complexo Paraíba do Sul, no segmento central da Faixa Ribeira, com base em estudos de geoquímica e geocronologia U-PB**. 1996. 146p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

VALVERDE SANCHO, A. M. **Análise dinâmica de fluxos de detritos em regiões tropicais**. 2016. 160p. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2016.

VARGAS, L. V. de. **Suscetibilidade a movimentos de massa: um estudo geomorfológico na sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS, em Santa Maria/RS**. 2015. 132p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria-PPGGEO. Santa Maria, RS, Brasil. 2015.

VARGAS, M. e PICHLER, E. 1957. ‘**Residual Soil and Rock Slides in Santos (Brazil)**’. In: 4º ICSMFE. Londres, 1957. p.394-398.

VARNES, D. J. **Landslides Types and Processes**. In *Landslides and Engineering Practice*. E. B. Eckel (ed). Special Report n° 29, Highway Research Board, p.20-47, 1958.

VARNES, D. J. **Slope Movement Types and Processes**. *Landslides Analysis and Control*, WASHINGTON, D. C., National Academy of Sciences, pp.11-33, (1978).

VESTENA, L. R. Mapeamento da susceptibilidade a deslizamentos na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. **Revista Mercator**, v. 9, n. 19, p. 175–190, 30 ago. 2010. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/361/289>. Acessado em: 31 mai. 2017.

VEYRET, Yvette (Org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Trad. Dilson Ferreira. São Paulo: Contexto, 2007.

VEYRET, Yvette; RICHEMOND, Nancy Meschinet. “O risco, o risco: Definições e vulnerabilidades do risco”. In: VEYRET, Yvette (Org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Trad. Dilson Ferreira. São Paulo: Contexto, 2007. 23-80.

VIALLI, L. **Tipos de Modelos de Simulação**. Curso: Modelagem e Instrumentação Ambiental. Faculdade de Matemática, Departamento de Estatística, PUCRS. mar. de 2016. 9f. Nota de Aula. Disponível em: http://www.pucrs.br/famat/viali/especializa/mia_ima_fafis/material/ead/eslaides/Simula_02.pdf. Acessado em 16 de out. de 2017.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 194-206, 2016. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/102616>. Acessado em: 07/02/2018.

WICANDER, R.; JAMES, M. **Fundamentos de geologia**. São Paulo, Cengage Learning, 2009.

ZAIDAN, R. T. **Riscos de Escorregamentos numa Bacia de Drenagem Urbana no Município de Juiz de Fora – MG**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/PPGG. Rio de Janeiro, 2006.

ZAIDAN, R. T; FERNANDES, N.F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia** 10 (2): 57 – 76, 2009.

ZAIDAN, R.T.. Geoprocessamento Conceitos e Definições. **Revista de Geografia – PPGeo** - UFJF. Juiz de Fora, v.7, n.2, (Jul-Dez) p.195-201, 2017.

ZUCCHI NETO, A. D. Matemática Aplicada à Topografia. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 103. 2017.

ANEXO I

Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa.
segundo Serviço Geológico do Brasil – CPRM

AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO

ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E ENCHENTES

SÃO JOÃO NEPOMUCENO - MG

FEVEREIRO DE 2014

MG_SJN_SR_02_CPRM

Localização: Joaquim Cruz/Cabo Nelo - Bairro Matadouro

UTM 23 K 705327 E 7617902 S



Descrição: Área sujeita a deslizamentos. Pequena encosta de aproximadamente 15 metros de altura e declividade superior a 60 graus em solo residual arenoso argiloso derivado das rochas enderbíticas que compõem a região. Pode ser observado que a instabilidade na encosta foi provocada pelos cortes verticalizados, ausência de drenagens superficiais e tráfego de veículos na rua na crista da encosta. Trincas no solo e árvores inclinadas evidenciam a condição de alto risco no local.

Quantidade de imóveis em risco: 10
Quantidade de pessoas em risco: 40

Obs: A contagem de imóveis em risco é aproximada, devendo a defesa civil municipal realizar a contagem exata de moradias dentro do polígono.

Sugestões de Intervenções:

- Obras de contenção;
- Construção de sistema de drenagem a montante da encosta;
- Formação de líderes comunitários para apoiar a Defesa Civil Municipal;
- Palestras visando a conscientização ambiental e em relação a ocupação de áreas de risco do município;
- Na ausência das intervenções sugeridas, remover as famílias de dentro do polígono.

EQUIPE TÉCNICA

Ivan Bispo de Oliveira Filho - ERJ

Legenda



Delimitação do setor risco



Sentido da drenagem



Sentido do movimento

AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E ENCHENTES

SÃO JOÃO NEPOMUCENO - MG

FEVEREIRO DE 2014

MG_SJN_SR_03_CPRM

Localização: Bárbara Heliodora/Antônio Pinto/Augusto Pacheco Resende - Bairro São José
UTM 23 K 706287 E 7617285 S



Descrição: Área sujeita a deslizamentos. Pequena área de cabeceira ocupada nos dois flancos, na base e no topo. As encostas possuem altura aproximada de 12 metros e declividades acentuadas. Os cortes verticalizados, a ausência de drenagens superficiais e a remoção da cobertura vegetal, têm provocado instabilidades ao longo das encostas. É possível observar cicatrizes de deslizamentos, trinco no solo e casas com muitas rachaduras. As ocupações ao longo das encostas possuem padrão construtivo baixo e médio, o que as tornam ainda mais vulneráveis em casos de movimentos de massa.

Quantidade de imóveis em risco: 40
Quantidade de pessoas em risco: 160

Obs: A contagem de imóveis em risco é aproximada, devendo a defesa civil municipal realizar a contagem exata de moradias dentro do polígono.

Sugestões de Intervenções:

- Obras de contenção;
- Construção de sistema de drenagem a montante da encosta;
- Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;
- Formação de líderes comunitários para apoiar a Defesa Civil Municipal;
- Palestras visando a conscientização ambiental e em relação a ocupação de áreas de risco do município;
- Na ausência das intervenções sugeridas, remover as famílias de dentro do polígono.

EQUIPE TÉCNICA

Ivan Bispo de Oliveira Filho - ERJ

Legenda



Delimitação do setor risco



Sentido da drenagem



Sentido do movimento

AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E ENCHENTES

SÃO JOÃO NEPOMUCENO - MG

FEVEREIRO DE 2014

MG_SJN_SR_05_CPRM

Localização: Nestor Henrique/Coronel Ricardo Martins - Bairro Cidade Nova
UTM 23 K 705927 E 7617925 S



Descrição: Área sujeita a deslizamentos. Longa encosta de alta amplitude e declividade acentuada. A encosta apresenta erosões em estágio avançado, provocado pela remoção da cobertura vegetal e ausência de drenagens superficiais a montante. As casas localizadas na base da encosta podem ser atingidas caso haja deslizamentos no local.

Quantidade de imóveis em risco: 5
Quantidade de pessoas em risco: 20

Sugestões de Intervenções:

Retaludar e revegetar a encosta.

Construção de sistema de drenagem a montante da encosta;

Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;

Formação de líderes comunitários para apoiar a Defesa Civil Municipal;

Palestras visando a conscientização ambiental e em relação a ocupação de áreas de risco do município.

EQUIPE TÉCNICA

Ivan Bispo de Oliveira Filho - ERJ

Legenda



Delimitação do setor risco



Sentido da drenagem

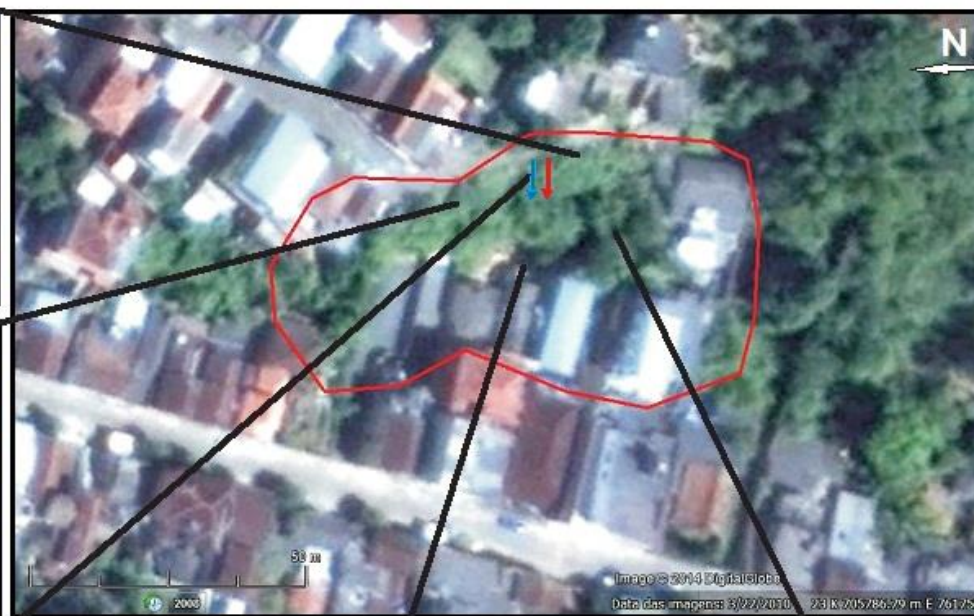


Sentido do movimento

**SÃO JOÃO NEPOMUCENO - MG
FEVEREIRO DE 2014**

MG_SJN_SR_06_CPRM

Localização: Rua Capitão Basílio/Comendador João Medina - Bairro Centro
UTM 23 K 705867 E 7617570 S



Descrição: Área sujeita a deslizamentos. Trata-se de encosta com aproximadamente 15 metros de altura e declividade acentuada em solo arenoso argiloso derivado das rochas enderbíticas que compõem a região. Cortes verticalizados, ausência de drenagens superficiais, lixo e lançamento de águas servidas na encosta, têm provocado instabilidade no local. É possível observar trincas no solo e pequenas cicatrizes de deslizamentos, evidenciando a condição de risco no local.

Quantidade de imóveis em risco: 7
Quantidade de pessoas em risco: 28

Sugestões de Intervenções:

Obras de contenção:

Construção de sistema de drenagem a montante da encosta;

Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;

Formação de líderes comunitários para apoiar a Defesa Civil Municipal;

Palestras visando a conscientização ambiental e em relação a ocupação de áreas de risco do município;

Na ausência das intervenções sugeridas, remover as famílias de dentro do polígono.

Legenda



Delimitação do setor risco



Sentido da drenagem



Sentido do movimento

EQUIPE TÉCNICA

Ivan Bispo de Oliveira Filho - ERJ

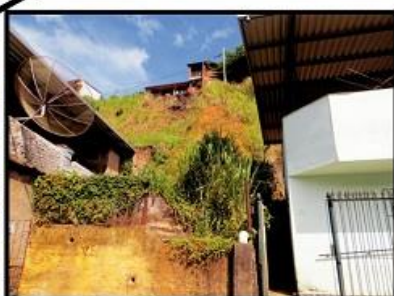
AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E ENCHENTES

SÃO JOÃO NEPOMUCENO - MG

FEVEREIRO DE 2014

MG_SJN_SR_07_CPRM

Localização: Alcebiades Valente/Mário Oliveira - Bairro Santa Teresinha
UTM 23 K 705517 E 7616865 S



Descrição: Área sujeita a deslizamentos. Trata-se de encosta com aproximadamente 17 metros de altura e declividade acentuada em solo arenoso argiloso derivado das rochas enderbíticas que compõem a região. Cortes verticalizados, ausência de drenagens superficiais, lixo e lançamento de águas servidas na encosta, têm provocado instabilidade no local. É possível observar trinças no solo e pequenas cicatrizes de deslizamentos, evidenciando a condição de risco no local.

Quantidade de imóveis em risco: 45

Quantidade de pessoas em risco: 180

Obs: A contagem de imóveis em risco é aproximada, devendo a defesa civil municipal realizar a contagem exata de moradias dentro do polígono.

Sugestões de Intervenções:

Obras de contenção;

Construção de sistema de drenagem a montante da encosta;

Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;

Formação de líderes comunitários para apoiar a Defesa Civil Municipal;

Palestras visando a conscientização ambiental e em relação a ocupação de áreas de risco do município;

Na ausência das intervenções sugeridas, remover as famílias de dentro do polígono.

EQUIPE TÉCNICA

Ivan Bispo de Oliveira Filho - ERJ

Legenda



Delimitação do setor risco



Sentido da drenagem



Sentido do movimento