



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Lucas Pinheiro Rocha

**Métodos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados na cidade
de Nova Friburgo por entidades das esferas do Município, Estado e
União**

Rio de Janeiro

2019

Lucas Pinheiro Rocha

Métodos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados na cidade de Nova Friburgo por entidades das esferas do Município, Estado e União

Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

R672 Rocha, Lucas Pinheiro Rocha.
Métodos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados na cidade de Nova Friburgo por entidades das esferas do Município, Estado e União / Lucas Pinheiro Rocha. – 2019.
117 f.: il.

Orientador: Francisco de Assis Dourado da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geografia física – Mapeamento geológico – Nova Friburgo (RJ) – Teses 2. Carta Geotécnica – Nova Friburgo (RJ) – Teses. 3. Avaliação de riscos – Nova Friburgo (RJ) – Teses. 4. Deslizamento – Nova Friburgo (RJ) – Teses. I. Silva, Francisco de Assis Dourado da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 911.2(815.3)

Bibliotecário Responsável: Fernanda Lobo / CRB-7:5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Lucas Pinheiro Rocha

Métodos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados na cidade de Nova Friburgo por entidades das esferas do Município, Estado e União

Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Aprovada em 18 de novembro de 2019.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva (Orientador)
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Sandra Fernandes da Silva
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Prof. Dr. Antonio Soares da Silva
Faculdade de Geografia - UERJ

Prof. Dr. Hugo Portocarrero
Faculdade de Geografia - UERJ

Prof. Dr. Lucas Pinheiro Rocha
Faculdade de Geologia - UERJ

Rio de Janeiro

2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os pesquisadores que acreditam em uma forma adequada e respeitosa de conviver de maneira harmônica e resiliente com o meio ambiente e seus fenômenos e processos naturais.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar ao mestre Paramahansa Yogananda por me orientar sempre, pelas alegrias, amores e bênçãos divinas que fui presenteado nesta vida...

Aos meus pais por me orientarem sabiamente a seguir de forma flexível e confiante para o cumprimento desta meta bem como por me conduzirem a amada mãe divina nos momentos mais árduos do cotidiano... A Aurea por me motivar sempre e por ser um exímio exemplo de irmã a ser fielmente seguido em diversos aspectos...

Agradeço profundamente a Ana Carelli, Francis, Juliana, Ângela e Evaristo por me receberem com todo carinho em suas casas durante o curso de mestrado... Imensos agradecimentos a Claudinha, Ramayana e Yure por todas as amorosas recepções no Rio de Janeiro... A equipe da Gerência de Geomática por todo incentivo e bem querer inerente aos membros deste setor... Gratidão Leonardo, Pedrinho, Pedrão, Amazile e Douglas. Ao Thiago Dutra por apoiar esta pesquisa e por fornecer ideias e contatos para aprimorar o estudo. No que tange a importância de agregar saberes de uma ou mais origens agradeço a amiga Cinthia. Um agradecimento especial ao amigo Teodoro pelas ajudas nos momentos mais difíceis desta dissertação. Ao Claudio Arruda pelo apoio e ao Fernando nas etapas conclusivas do trabalho...

A todos os amigos e amigas que torceram e vibraram positivamente em relação ao sucesso do trabalho!! Um agradecimento também ao professor Francisco Dourado por orientar esta pesquisa bem como por compreender e valorizar os esforços dos finais de semana, feriados e férias utilizados por dois anos para conclusão deste trabalho. Por fim agradeço aos membros da banca por aceitarem o convite sendo, no entanto, ícones essenciais ao aprimoramento desta obra! Uma alegria enorme estar cumprindo com este objetivo tão almejado...

Seja a mudança que você quer ver no mundo.

Mahatma Gandhi

RESUMO

ROCHA, Lucas Pinheiro. **Métodos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados na cidade de Nova Friburgo por entidades das esferas do Município, Estado e União**. 2019. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Faculdade de Geologia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O município de Nova Friburgo insere-se entre as 821 cidades cadastradas no Brasil como suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa. Neste caso, para a aprovação de projetos de planta construção a lei 12.608/ 2012, obrigatoriamente vincula este município ao atendimento dos requisitos constantes da carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. Todavia para o cumprimento da lei o município recebeu esta carta em 2015 da esfera Estadual e o material em questão é um estágio intermediário entre uma carta de Suscetibilidade fornecido pela União e cartas de Perigo/ Risco. Atualmente os materiais de maiores detalhamento geológico-geotécnico são produzidos gradativamente por técnicos municipais da Gerência de Geomática a partir de metodologia proposta pelo governo federal no manual de mapeamento do projeto GIDES. Este trabalho tem por objetivo descrever, analisar e comparar os métodos de mapeamento geológico-geotécnico da carta de Suscetibilidade 1: 25.000, carta Geotécnica de Aptidão Urbana 1: 10.000 e cartas de Perigo/ Risco 1: 5.000 a escala local. A partir das verificações obtidas entende-se que este trabalho pode facilitar a análise de outras prefeituras cadastradas como suscetíveis bem como ajudar a estabelecer diretrizes para os materiais de mapeamento em questão. Em uma área estratégica no centro da cidade de Nova Friburgo o estudo de casos de deslizamentos foi verificado com modelagens 3D e imagens de alta resolução tornado possível a delimitação georreferenciada das edificações destruídas em janeiro de 2011 pelo evento geoclimático associado aos movimentos gravitacionais de massa do tipo deslizamento planar. Os estudos demonstram uma melhor delimitação das perdas ocorridas e rupturas de deslizamento nas cartas de Perigo/ Risco. O conjunto de dados levantados mostram que uma integração de outras informações presentes na base de dados das cartas de Suscetibilidade e Geotécnica auxiliam diretamente no diagnóstico dos graus de perigo que por sua vez é uma etapa mais específica da carta de perigo. Esta integração de metodologias pode definir de forma mais consistente áreas prioritárias para monitoramento e alerta da população em risco bem como o perigo iminente para a execução de obras de contenção e mitigação do risco geológico.

Palavras-Chave: Lei 12.608/ 2012. Carta Geotécnica de Aptidão Urbana. Mapeamento geológico-geotécnico. Carta de Suscetibilidade. Cartas de Perigo/ Risco. Movimentos Gravitacionais de Massa. Deslizamento Planar.

ABSTRACT

ROCHA, Lucas Pinheiro. **Geological-geotechnical mapping methods applied in the city of Nova Friburgo by entities of the Municipality, State and Union spheres.** 2019. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Faculdade de Geologia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The Nova Friburgo city is inscribed amongst the 821 registered cities In Brazil as susceptible to gravitational mass movements. In this case, to have a construction plant approved, according to 12.608/2012 law, the city will mandatorily ask the project to follow the requirements of Geotechnical map of Propensity to Urban Occupation. Moreover, the city to abide to this law, has received a 2015 version of this map from the State Dept, and this char tis only an intermediate product of a Federal Geological Dept a Susceptibility map and a Hazard/ Risk maps. Presently the most geological / geotechnical detailed studies are done gradually by City Technicians that work for Geomatic Management Dept, based on Federal Government Manual project mapping GIDES. This work's objectives are to describe, analyze and compare geological-geotechnical mapping methods used in Susceptibility map 1: 25.000, Geotechnical map 1: 10.000 and Hazard/ Risk maps 1: 5.000 at local scale. It is understood that, starting from this verified information it is possible to help other registered Cities to analyze their data see if they are also susceptible and also help them to write down their own directives to map their own geological-geotechnical problems. In a certain strategical area downtown Nova Friburgo, this earth movements case study was verified with a 3D modelling and high-resolution images, which made possible geo-referential delimitation of some of the buildings destroyed in Jan/2011 when there was an occurrence of geoclimathical gravitational movement of mass planar land sliding. These researches have made possible a better Hazard/ Risk maps loss delimitation due to mass land sliding. The data so obtained show that integration with other information registered in the Susceptibility and Geotechnical maps data base help directly better drive the danger diagnostics, which are just a Hazard map more specific step. This methodologies integration can define a better consistent way to monitor priority areas, better inform and alert the population at risk as well as inform authorities of the imminent dangers so that they can start contention works, and risk mitigation.

Keywords: 12.608/2012 law. Geotechnical map of Propensity to Urban Occupation. Geological-geotechnical mapping methods. Susceptibility map. Hazard/ Risk maps.Gravitational movement of mass. Planar Land Sliding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Domínio de risco a escorregamentos efetuado no Estado do Rio de Janeiro.....	18
Figura 2 -	Critério topográfico japonês utilizado para a definição de áreas de perigo a deslizamento planar.....	19
Figura 3 -	Áreas com mapeamento geológico-geotécnico em escala local.....	21
Figura 4 -	Área 01 de estudo - Mapeada durante o projeto GIDES no município de Nova Friburgo.....	22
Figura 5 -	Área 02 de estudo – Mapeada para análise das cartas de Suscetibilidade, Geotécnica e de Perigo/ Risco.....	23
Figura 6 -	Unidades Homogêneas do Terreno (UHT)	26
Figura 7 -	Critério topográfico brasileiro utilizado para a definição de áreas de perigo a deslizamento planar.....	34
Figura 8 -	Área de atingimento definida como local de interesse para análise de perigo.....	34
Figura 9 -	Modelo Digital de Elevação de um talude $\geq 25^\circ$ (Shapefile)	35
Figura 10 -	Perímetro de ruptura planar União de vértices para naturalizar a encosta ($X \geq 25^\circ$)	35
Figura 11 -	Delimitação de linhas para mensurar as medidas das zonas de atingimento a partir dos vértices da base e topo da encosta	36
Figura 12 -	Delimitação dos polígonos das áreas críticas e de dispersão	36
Figura 13 -	Áreas críticas (vermelha) e de dispersão (amarela) com ortofoto	37
Figura 14 -	Fluxograma com a integração das cartas para mapeamento geológico-geotécnico.....	42
Figura 15 -	Área contendo 100% de rupturas na suscetibilidade alta.....	45
Figura 16 -	Perímetro de ruptura planar	46
Figura 17 -	Carta de Suscetibilidade e análises complementares	47
Figura 18 -	Mapeamento geológico-geotécnico da União.....	49
Figura 19 -	Cruzamento de dados do nível baixa da CGU com 25° de inclinação e movimentos gravitacionais de massa ocorridos em 2011.....	50

Figura 20 - Análise da metodologia da carta Geotécnica em escala local com 69% de acerto e 53% de aproveitamento de área.....	52
Figura 21 - Verificação 3D no Centro para deslizamento planar.....	53
Figura 22 - Verificação 3D no bairro Vilage para deslizamento planar.....	53
Figura 23 - Sobrevoos com Drone modelo Phantom4.....	54
Figura 24 - Depósito de tálus localizado no Condomínio da Pedra, Vale dos Pinheiros Depósitos de tálus localizado no bairro de Varginha, distrito Sede e tálus no Vale das palmas no bairro de Maria Teresa no distrito de Conselheiro Paulino – vistoria local.	54
Figura 25 - Depósitos de Tálus localizado no cond. Monte Belo no distrito de Mury – Vistoria local.....	55
Figura 26 - Tálus com matriz laterizada no condomínio Monte Belo – Vistoria local.....	55
Figura 27 - Solo raso sobre rocha - Parque Maria Teresa, Conselheiro Paulino, Nova Friburgo – Vistoria local.....	58
Figura 28 - Afloramento rochoso - Três Irmãos, Conselheiro Paulino, Nova Friburgo – Vistoria local.....	59
Figura 29 - Solo residual profundo.....	61
Figura 30 - Indícios, elementos e processos atuantes em solo residual profundo.....	61
Figura 31 - Solo de Colúvio – Parque Maria Teresa, Conselheiro Paulino, Nova Friburgo.....	62
Figura 32 - Depósito de corrida de massa – Duas Pedras, Nova Friburgo – RJ.....	62
Figura 33 - Mapeamento geológico-geotécnico do Estado.....	64
Figura 34 - Estatística das áreas piloto do projeto GIDES - Assertividade de 94% e 58% de aproveitamento de área.....	66
Figura 35 - Análise da metodologia da Carta de Perigo/ Risco em escala local, com 95% de acerto e 53% de aproveitamento de área	67
Figura 36 - Curva de nível de 5 em 5 metros.....	68
Figura 37 - Modelo Digital de Elevação.....	69
Figura 38 - Modelo Digital de Elevação com Inclinações $\geq 25^\circ$ (Raster).....	69
Figura 39 - Modelo Digital de Elevação com Inclinações $\geq 25^\circ$ (Shapefile)	70

Figura 40 - MDE com Inclinações $\geq 25^\circ$ e áreas de atingimento.....	71
Figura 41 - Inclusão de patamares para delimitação de zonas de ruptura ...	71
Figura 42 - Descalçamento de blocos -Vistoria local.....	72
Figura 43 - Solapamento – Vistoria local.....	72
Figura 44 - Surgência - Vistoria local.....	73
Figura 45 - Cicatriz de deslizamento – Vistoria local.....	74
Figura 46 - Matação arredondado na crista da encosta – Vistoria local.....	74
Figura 47 - Perfil topográfico da encosta.....	75
Figura 48 - Degrau de abatimento – Vistoria local.....	75
Figura 49 - Obras de contenção – Vistoria local.....	76
Figura 50 - Grau de perigo e nível de risco muito alto (P4).....	76
Figura 51 - Registro de impacto de blocos – Vistoria local.....	79
Figura 52 - Recalques na construção – Vistoria local.....	79
Figura 53 - Trincas na construção – Vistoria local.....	80
Figura 54 - Destruição total de duas casas em 2011 – Vistoria local.....	80
Figura 55 - Áreas de potencial perigo a movimentos de massa - Projeto GIDES.....	82
Figura 56 - Carta com os graus perigo definidos no projeto GIDES.....	83
Figura 57 - Carta de Risco elaborado no projeto GIDES.....	84
Figura 58 - Esquema de integração das cartas e obtenção do risco geológico.....	86
Figura 59 - Mapa Geológico em escala original 1 - 50.000.....	87
Figura 60 - Áreas de potencial perigo e perdas ocorridas em 2011.....	91
Figura 61 - Trincas em solos transportados – Vistorias locais.....	92
Figura 62 - Rupturas em solos profundos e morros circulares de alteração de rochas ígneas. Vistoria local e modelagem 3D.....	94
Figura 63 - Ruptura em solo residual e instabilidade geotécnica por surgência.....	95
Figura 64 - Deslizamentos planares em solo residual profundo.....	98
Figura 65 - Vistoria de campo em terreno côncavo.....	99
Figura 66 - Movimento gravitacional de massa do tipo complexo (Praça do Suspiro, Centro)	100
Figura 67 - Articulação do mapeamento com outros eixos de prevenção.....	101

Figura 68 - Mapeamento de fluxo de detritos no bairro Lagoinha, distrito Sede.....	104
Figura 69 - Redução granulométrica de montante a jusante no bairro Lagoinha, distrito Sede.....	105
Figura 70 - Deslizamento rotacional ocorrido no bairro Ypú, distrito Sede – Vistoria local com sobrevoo de Drone modelo Phantom4	106
Figura 71 - Padrões de curvas de nível utilizado para definição preliminar das ocorrências de fluxos de detritos, movimentos complexos e deslizamentos planares.....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise da inclinação média das rupturas de encosta em 2011.....	44
Gráfico 2 - Soma de 80% SSR com 4% SR, resultado em 84% de solo in situ para o município de Nova Friburgo.....	57
Gráfico 3 - Análise do tipo de material mobilizado em 2011.....	57
Gráfico 4 - Análise da altura mínima para perdas em AC e AD.....	77
Gráfico 5 - Análise da largura das rupturas associadas ao evento de 2011.....	88
Gráfico 6 - Dados de intensidade pluviométrica em 2011.....	96
Gráfico 7 - Dados de pluviometria mensal acumulada em janeiro de 2011 comparados com dados de 2010.....	97
Gráfico 8 - Análise da curvatura do terreno nas rupturas de 2011.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escalas cartográficas adequadas para cada uma das cartas geológicas-geotécnicas.....	17
Tabela 2 - Método de mapeamento de Suscetibilidade sistematizado em tabela.....	27
Tabela 3 - Método de mapeamento da CGU sistematizado em tabela.....	30
Tabela 4 - Classificação das tipologias de movimentos gravitacionais de massa.....	32
Tabela 5 - Caracterização das áreas de perigo em análise de escritório.....	33
Tabela 6 - Qualificação do grau de perigo, baseada em indícios de instabilidade do terreno, referente ao processo de deslizamento planar.....	38
Tabela 7 - Classificação da vulnerabilidade das construções.....	39
Tabela 8 - Método de mapeamento de Perigo/ Risco sistematizado em tabela.....	40
Tabela 9 - Principais discussões referentes ao uso individual das cartas de Suscetibilidade, Geotécnica e Perigo/ Risco.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área Crítica a Movimentos Gravitacionais de Massa.
AD	Área de dispersão a Movimentos Gravitacionais de Massa.
CGU	Carta Geotécnica de Aptidão Urbana.
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres.
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil.
DRM-RJ	Departamento de Recurso Mineral do Estado do Rio de Janeiro/ Serviço Geológico Estadual.
GEGEO	Gerência de Geomática / Setor da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo pertencente a Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano Sustentável.
GIDES	Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres Naturais.
ISD	Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos.
JICA	Agência de Cooperação Internacional do Japão.
MDE	Modelo Digital de Elevação.
NADE	Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos.
PMNF	Prefeitura Municipal de Nova Friburgo.
SEMMAD	Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano Sustentável.
UHT	Unidades homogêneas do terreno.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	MATERIAIS E MÉTODOS	24
2.1	Carta de Susceptibilidade	25
2.2	Carta Geotécnica de Aptidão Urbana	27
2.3	Carta de Perigo / Risco – Projeto GIDES	31
2.3.1	Áreas de potencial perigo	32
2.3.2	Graus de perigo	37
2.3.3	Níveis de risco	39
2.4	Materiais e métodos para análise das cartas	40
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
3.1	Carta de Susceptibilidade	43
3.1.1	Mapeamento elaborado pela União	48
3.2	Carta Geotécnica de Aptidão Urbana	50
3.2.1	Mapeamento elaborado pelo Estado	63
3.3	Carta de Perigo / Risco – Projeto GIDES	65
3.3.1	Delimitação das áreas de potencial perigo	68
3.3.2	Definição dos graus de perigo	72
3.3.3	Definição dos níveis de risco	77
3.3.4	Mapeamentos elaborados pelo Município	81
3.4	Comparação e integração entre as cartas	85
3.5	Considerações sobre a temática	108
	CONCLUSÕES	110
	REFERÊNCIAS	115

1 INTRODUÇÃO

As cartas geológicas-geotécnicas possuem a finalidade resguardar vidas humanas e bens materiais. Estas cartas são aplicadas a desastres geológicos associados a movimento gravitacionais de massa. De acordo com TOMINAGA (2011), os movimentos de massa são deslocamentos de solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob ação direta da gravidade que podem ter a contribuição de água ou gelo para reduzir a resistência dos materiais de vertente e/ou induzir o comportamento plástico e fluido dos solos. Segundo o COBRADE (2016) os movimentos massa são desastres naturais, ou seja, ocorrem independentes de ações antrópicas. Estes são conhecidos popularmente como desmoronamento ou desbarrancamento e inserem-se no grupo de risco geológico estudado nesta obra.

Os mecanismos práticos para proteger pessoas e bens materiais de movimentos de massa são a priorização de zonas de monitoramento pluviométrico, alerta de sirenes e planos de contingência com a programação de rotas de fuga e pontos de apoio. Nas áreas com elementos vulneráveis contidos em áreas de perigo com elevado grau de risco geológico são executadas obras de contenção capazes de reduzir a suscetibilidade das encostas. Em um caráter mais voltado a evitar problemas futuros de calamidade pública associada a eventos geoclimáticos recomenda-se que os gestores públicos municipais façam uso constante destas cartas para definição da viabilidade de empreendimentos (NADE/ DRM-RJ, 2015). Em áreas de baixa a média densidade demográfica o planejamento da expansão urbana de uma cidade pode ser executado com o estudo das cartas de perigo, suscetibilidade e risco para direcionar o vetor de crescimento desta. Estas cartas funcionam de forma orientativa para a ocupação de terrenos seguros de forma a gerar um resultado preventivo e cidades resilientes.

Os gestores públicos da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo receberam em 2014 uma Carta de Suscetibilidade desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e em 2015 uma Carta Geotécnica de Aptidão Urbana (CGU) do Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ). Segundo a nota técnica explicativa da Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações é recomendável tratar os resultados inicialmente em caráter informativo.

A escala mínima para uma Carta de Suscetibilidade é 1: 25.000, em maior detalhe a Carta Geotécnica de Aptidão Urbana deve ter escala maior ou igual a 1: 10.000 e a Carta de Risco 1: 2.000 (Tabela 01) ou mínimo de 1: 2.500 pelo manual GIDES.

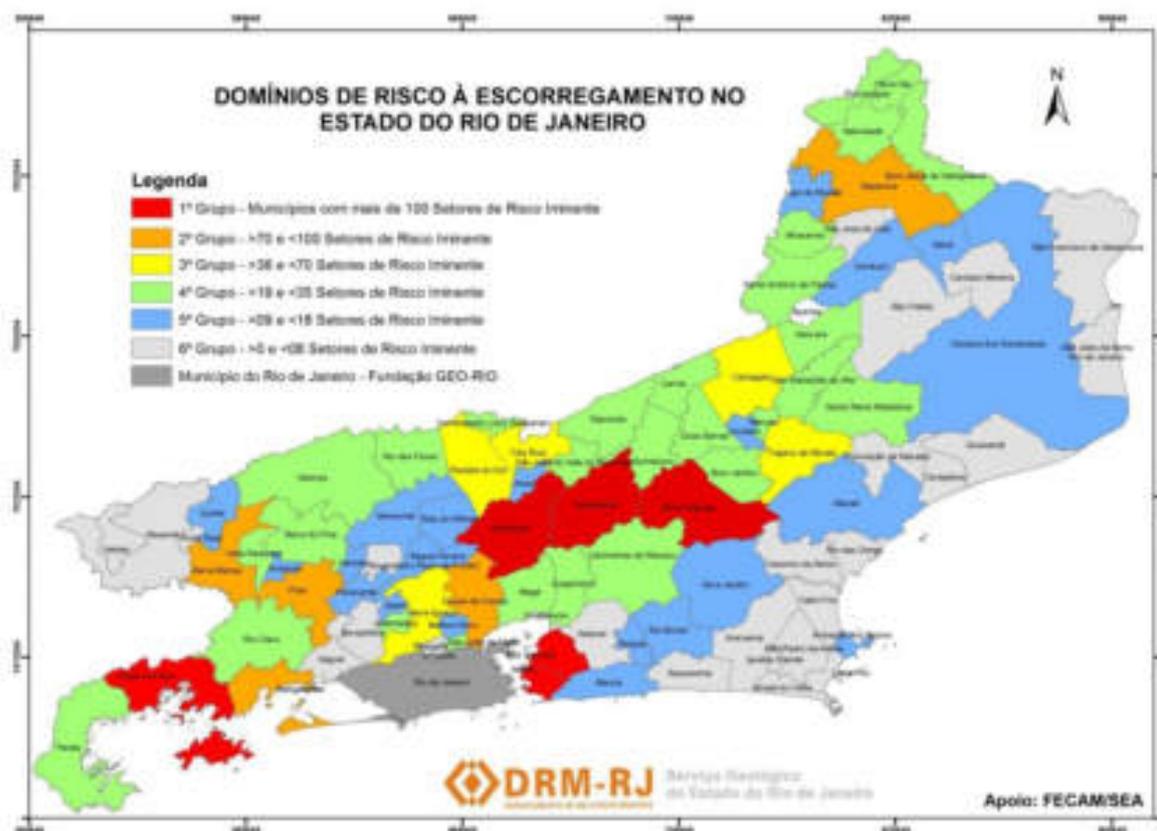
Tabela 1 - Escalas cartográficas adequadas para cada uma das cartas geológicas-geotécnicas.

Produto	Escala de mapeamento	Processos geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de susceptibilidade	1:25.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Cartas de aptidão à urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações, enchentes, alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, expansão dos terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de riscos geológicos	1:2.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, rotacionais, em cunha, inundações, enchentes, alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, expansão dos terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: BITAR, O.Y , 2014.

De acordo com o Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos – NADE/ DRM-RJ (2013) o município de Nova Friburgo se inclui entre os poucos municípios do Estado do Rio de Janeiro em domínio de risco com mais de 100 setores em risco iminente (figura 01). Segundo a lei 12.608/ 2012 os municípios definidos no cadastro nacional de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos deverão elaborar a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados para a construção civil. O município de Nova Friburgo insere-se entre as 821 cidades cadastradas como suscetíveis e, portanto, para a aprovação do projeto ficará vinculada ao atendimento dos requisitos constantes da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana.

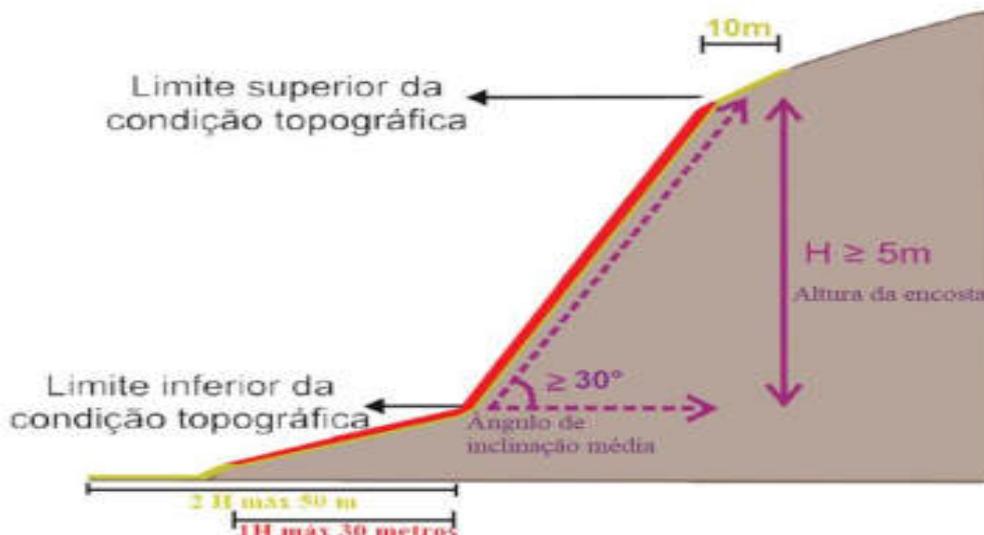
Figura 1 - Domínio de risco a escorregamentos efetuado no Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: NADE/ DRM-RJ, 2013.

Segundo o relatório técnico da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana do (CGU DRM-RJ 2015), o material em questão é um estágio intermediário entre uma Carta de Susceptibilidade e uma Carta de Perigo. O Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres - GIDES resultou em um Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Este propõe uma metodologia adaptada de técnicas de mapeamento de perigo adotadas no Japão desde 1972. O método japonês de definição de áreas de perigo a deslizamentos planares possui confirmações probabilísticas de ocorrências pretéritas para geração de duas zonas mensuráveis (amarela e vermelha) por critérios bem definidos (figura 02). A inserção da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo no projeto GIDES possibilitou os técnicos da Gerência de Geomática (GEGEO/ PMNF) a aprender com a JICA (Agência de Cooperação Internacional do Japão) os critérios de mapeamento de áreas de potencial perigo a deslizamento planar, rotacional e fluxo de detritos e com a CPRM as áreas de potencial perigo a quedas de blocos bem como os graus de perigo e níveis de risco para as quatro tipologias de movimentos de massa.

Figura 2 - Critério topográfico japonês utilizado para a definição de áreas de perigo a deslizamento planar.



Fonte: O autor, 2019.

O grupo técnico da CGU/ DRM-RJ aponta para uma alerta ao município de Nova Friburgo sobre a existência de áreas nas quais há necessidade de estudos mais detalhados em escala maior ou igual a 1: 5.000. O relatório técnico desta CGU faz a seguinte menção: “Grande parte da responsabilidade pela atualização e revisão da “CGU do DRM-RJ” e pela preparação de uma Carta Geotécnica de Aptidão Urbana completa de Nova Friburgo cabe ao próprio município. Para que esta tarefa seja viável, o caminho a ser seguido pela Prefeitura Municipal é o mesmo seguido pelo DRM-RJ, i.e., a estruturação e consolidação de um Grupo Técnico permanente voltado para a gestão do risco de desastres geológicos, integrado por técnicos municipais motivados”. A lei 12.608/ 2012 atrela reponsabilidade conjunta nas esferas do Município, Estado e União a mapear e definir áreas de risco a desastres naturais. No Decreto N° 96 de abril de 2018 a Prefeitura de Nova Friburgo delega competência a técnicos municipais da Gerência de Geomática - GEGEO (SEMMADUS) para aplicar a metodologia de perigo a movimentos gravitacionais de massa do projeto GIDES. Esta metodologia vem sendo aplicada resultando em cartas de Perigo/ Risco confeccionadas pelo ente Municipal em uma escala local.

O objetivo geral deste trabalho consiste em descrever, analisar e comparar as três metodologias, representadas em cartas disponíveis em áreas já estudadas pelo ente Municipal (figura 03) para que outros municípios localizados em zonas de riscos a deslizamentos planares possam aprimorar as práticas de diagnóstico. Já os objetivos específicos são: Delimitar na área de estudo as rupturas de deslizamento

que estiveram associados a construções civis destruídas no evento geoclimático de 2011; Analisar e comparar os métodos de mapeamento geológico-geotécnico a partir de estudos práticos, dados e bases cartográficas da GEGEO/ PMNF; Avaliar uso e aplicação das cartas de mapeamento geológico-geotécnico considerando os dados de construções civis perdidas em 2011 e por fim debater sobre a possibilidade de vincular os métodos da Carta de Suscetibilidade, Geotécnica e Perigo/ Risco em uma abordagem integrada de mapeamento geológico-geotécnico.

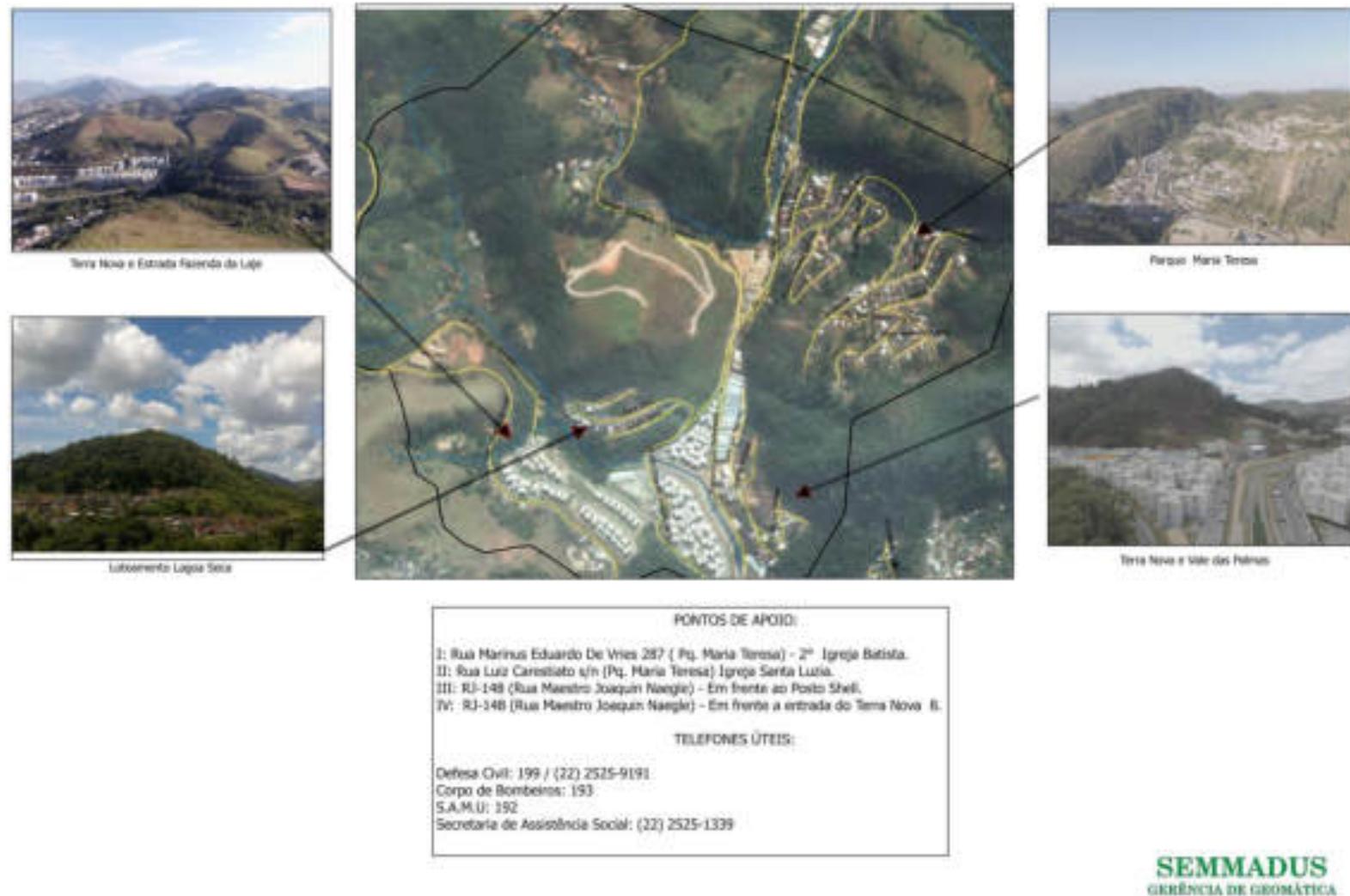
A Prefeitura Municipal de Nova Friburgo tem o produto final dos materiais de mapeamento geológico-geotécnico elaborados por entes das esferas do Estado e União sendo estes a carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações/ CPRM e a carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização/ DRM-RJ. Nos estudos deste trabalho foram escolhidos dois locais da cidade de Nova Friburgo previamente mapeadas em escala local. A área 01 é de 2,2 Km² contendo localidades do bairro Maria Teresa estudadas durante o projeto GIDES (figura 04). Já a área 02 deste estudo foi mapeada pela PMNF depois do projeto GIDES e abrange 1 km² incluindo o bairro Vilage e parte do bairro Centro ambos no distrito Sede do município de Nova Friburgo, Estado do Rio de Janeiro, Brasil (figura 05). A escolha destas áreas relaciona-se aos altos adensamentos de perda de construções civis ocorridas no evento geoclimático de 2011.

Figura 3 - Áreas com mapeamento geológico-geotécnico em escala local.



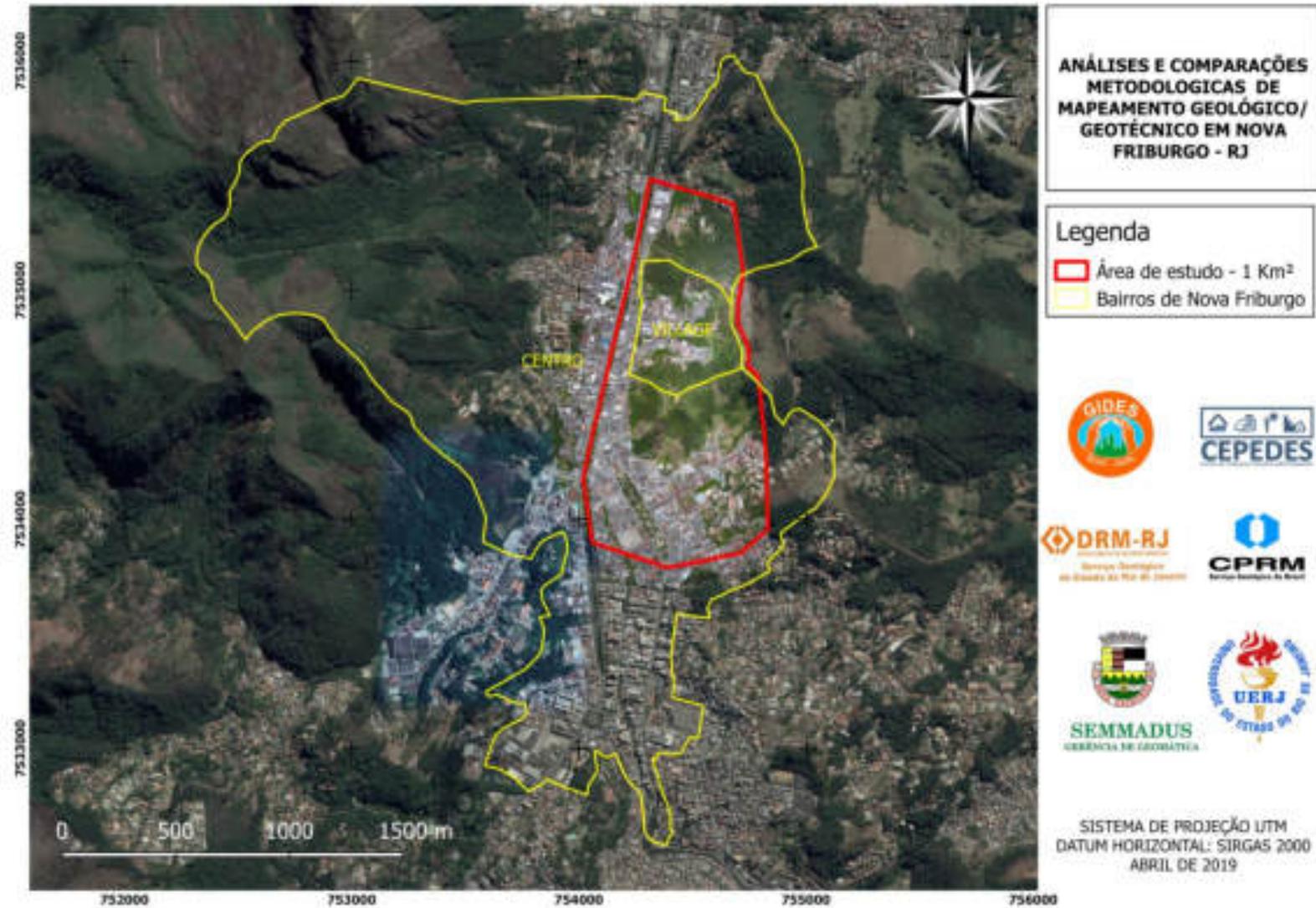
Fonte: O autor, 2019.

Figura 4 - Área 01 de estudo - Mapeada durante o projeto GIDES no município de Nova Friburgo



Fonte: Gerência de Geomática, 2018.

Figura 5 - Área 02 de estudo – Mapeada para análise das cartas de Suscetibilidade, Geotécnica e de Perigo/ Risco.



Fonte: O autor, 2019.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No município de Nova Friburgo, os métodos de mapeamento geológico-geotécnicos foram aplicados nas duas áreas de estudo por entidades das esferas do Município, Estado e União. Na esfera Federal o mapeamento foi confeccionado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que representa um órgão do governo vinculado ao Ministério de Minas e Energia. Na esfera Estadual outro tipo de mapeamento geológico-geotécnico foi efetuado pelo Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos do Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ), órgão vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços do Estado do Rio de Janeiro. E por fim, a contraparte Municipal aplicou mais um método complementar aos demais por meio da Gerência de Geomática, setor este pertencente a Prefeitura de Nova Friburgo (PMNF) e vinculado à Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano Sustentável.

Os produtos finais são uma Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, uma Carta Geotécnica de Aptidão Urbana e uma Carta de Perigo/ Risco sendo estes materiais confeccionados respectivamente por servidores públicos Federais, Estaduais e Municipais. Os métodos deste estudo estão na Nota Técnica Explicativa da Carta de Suscetibilidade, no Relatório Técnico da CGU de Nova Friburgo e no Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa. A eficácia destes materiais consiste na concentração das rupturas de deslizamentos planares e edificações destruídas em terrenos previamente estabelecidos pelos métodos como não aptos a ocupação. Uma metodologia específica foi desenvolvida neste trabalho a fim de analisar individualmente as cartas e integra-las em escala local.

2.1 Carta de Suscetibilidade

A Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações de Nova Friburgo foi uma proposta de mapeamento geológico-geotécnico em 1: 25.000 do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Esta Carta por sua vez demonstra a predisposição natural do meio na área de deflagração do movimento. Neste método a partir da combinação de elementos do meio físico é obtido a capacidade natural a ocorrência de rupturas de deslizamentos. A metodologia em questão não indica a trajetória e alcance dos materiais nos fenômenos e tampouco a sinergia entre os vários processos atuantes.

Segundo a nota técnica explicativa da Carta de Suscetibilidade os fatores do meio físico de predisposição natural para deflagração de rupturas de deslizamento são: relevo, forma da encosta, amplitude, declividade, litologia, densidade de lineamentos, solos e processos geológicos tais como tipologia de movimentos de massa e tipos de erosão. A seleção de áreas piloto em municípios é feita em locais com um grande número de cicatrizes de deslizamento mapeáveis e os resultados são extrapolados para o restante das áreas. A relação entre os fatores predisponentes e os deslizamentos é o produto da Carta de Suscetibilidade e a qualidade desta depende da resolução dos modelos disponíveis de MDE sendo, no entanto ideal o MDT.

De acordo com BITAR (2014) as classes de suscetibilidade são divididas em: alta, média e baixa a partir do índice de suscetibilidade a deslizamentos (ISD) verificado pela densidade de cicatrizes de movimentos de massa em unidades homogêneas do terreno (UHT). Os materiais utilizados para delimitar as UHTs são ortofotos de alta resolução da Emblasa de 2010 e 2011 e bases topográficas em escala 1: 25.000 (BITAR, 2014). Em escala 1:25.000, cada unidade de terreno mapeada representa aproximadamente uma unidade de encosta, com limites no talvegue, no divisor de águas e lateralmente nas mudanças de orientação de encosta (figura 06).

Na classificação metodologia a delimitação da classe alta contem aproximadamente 90% das rupturas de deslizamentos. Já onde existe uma ruptura a partir da qual a inserção de outras demandaria a inclusão de muitas áreas é

delimitado a classe média completando por sua vez 100% dos casos das cicatrizes. A classe baixa no método não inclui cicatrizes resultando em 0% de chances de rupturas. Conforme BITAR (2014) este método estabelece uma área piloto um conjunto de características encontradas no meio físico propulsoras a deflagração de deslizamentos e extrapola para outras áreas o resultado obtido. A tabela 02 demonstra as características do meio físico de Nova Friburgo com os fatores de suscetibilidade associados as classes alta, média e baixa – CPRM (2014).

Figura 6 - Unidades Homogêneas do Terreno (UHT).



Fonte: BITAR, O.Y. (2014).

Tabela 2 - Método de mapeamento de Suscetibilidade sistematizado em tabela.

SUSCETIBILIDADE	
Alta	A classe alta apresenta características predominantes de relevo contendo alinhamentos serranos, montanhoso, alto montanhoso e morros elevados; forma das encostas com predomínio de vertentes retilíneas a côncavas com depósitos de tálus de grandes dimensões nos sopés das mais íngremes e de maiores amplitudes; amplitudes de 100 metros a mais de 1500 metros; declividades maiores que 25° de inclinação; litologia de rochas cristalinas (gnaiesses para e ortoderivados e granitoides diversos); lineamentos/estruturas com alta densidade; solos formados por neossolos litólicos e cambissolos e processos de deslizamentos planares rasos, corrida de massa, enxurrada, queda e/ou rolamento de blocos de rocha.
Média	A classe média apresenta características predominantes de relevo com colinas em sua maioria das dissecadas e morros baixos, rampas de colúvio nas baixas vertentes e sopés e em alvéolos das áreas serranas; as formas das encostas são convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem; amplitudes de 30 a 100 metros; declividades: 5 e 20°; litologia de granitoides e gnaiesses orto e paraderivados; densidade de lineamentos/estruturas de moderada a alta; solos moderadamente desenvolvidos, tais como Latossolos Vermelho-Amarelos e os processos mais comuns são deslizamentos planares rasos e profundos.
Baixa	Na classe baixa as características predominantes de relevo são terrenos suavemente ondulados, de colinas arredondadas e/ou alongadas; rampas de alúvio-colúvio suaves nos sopés das vertentes; topos de morros; forma das encostas convexas suavizadas e topos amplos; amplitudes menores que 50 metros; declividades menores que 10° de inclinação; litologia constituída de granitoides e gnaiesses orto e paraderivados altamente alterados; densidade de lineamentos/estruturas de baixa à média; solos espessos muito desenvolvidos formados por Latossolos Vermelho-Amarelos e processos mais comuns rastejos, erosões e deslizamentos de pequeno porte.

Fonte: CPRM (2014) adaptado pelo autor, 2019.

A finalidade da carta de suscetibilidade é direcionar o vetor da expansão urbana das cidades, porém devido a proposta de não incorporar áreas de propagação de atingimentos este material apresenta-se como sendo de caráter informativo/ consultivo e não orientador para aprovação de projetos. De acordo com os técnicos responsáveis pela elaboração das cartas de Suscetibilidade o método é embasado em um conjunto fatores predisponentes adaptados a uma escala 1: 25.000. Logo, a execução deste material é servir de base para complementar outros materiais de mapeamento geológico-geotécnico e fica condicionado a estudos mais específicos para orientar o vetor de crescimento das cidades.

2.2 Carta Geotécnica de Aptidão Urbana

A Carta Geotécnica de Aptidão Urbana de Nova Friburgo foi uma proposta de mapeamento geológico-geotécnico em 1: 10.000 do Serviço Geológico do Estado do

Rio de Janeiro (DRM-RJ) por meio do Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos (NADE). Esta Carta foi elaborado a partir da compartimentação do território em unidades geológico-geotécnicas e da organização de um Inventário de Escorregamentos Ocorridos e de Escorregamentos Potenciais.

As vistorias locais do DRM-RJ, CPRM e a participação de empresas contratadas pela PMNF tais como PANGEA e REGEA resultou no inventário de informações sobre 672 escorregamentos ocorridos no município de Nova Friburgo. As informações obtidas deste inventário inclui o tipo de talude (natural, corte ou aterro) e o material/cauda envolvida que pode ser: deslizamento de solo, deslizamento de solo e aterro, deslizamento em depósitos de tálus, deslizamento de solo e rocha, deslizamento de solo sobre rocha, queda de blocos rochosos ou lascas rochosas e corrida de massa de detritos. A definição de 5 níveis de potencial ocorrência a escorregamento e uma área não mapeada é o produto deste mapeamento em unidades geológico-geotécnicas. Os níveis são classificados em: baixa, moderada, alta, muito alta e crítica. Análises subjetivas e qualitativas de informações interpretadas pelo DRM-RJ a partir de 05 anos de vistorias em Nova Friburgo juntamente com os resultados de análises estatísticas dos dados históricos mapeados foram utilizados para consolidação do método.

As unidades geológicas-geotécnicas utilizadas na confecção desta Carta de Nova Friburgo foram: afloramento rochoso (01), solos rasos sobre rocha (2), solos residuais espessos (3), depósitos de colúvio (4), depósitos de tálus (5) e depósitos de corrida de massa (6). Os afloramentos rochosos (AF) são exposições rochosas contínuas nas encostas de morros e serras, típicas de trechos, normalmente fraturados a muito fraturados, das escarpas rochosas e dos maciços rochosos aflorantes. Os solos rasos sobre rocha (SSR) são capas de solos residuais com espessura de 0 a 2 metros dispostos diretamente sobre a rocha sub-aflorante ou entre depósitos de tálus e também entre blocos *in situ* isolados. Já a unidade Solos Residuais Espessos (SR) correspondem aos perfis de solos com espessura superior a 2 metros. Os depósitos de colúvio (CO) são solos transportados por gravidade com deposição do material oriundo da fonte. Os depósitos de tálus (TA) são solos transportados compostos por blocos rochosos de dimensões e formas variadas envoltos em uma matriz de colúvio. Os depósitos de corrida de massa (CDM) são solos transportados com grande raio de alcance contendo grande volume de solo, blocos e detritos ao longo de drenagens.

O método CGU/ DRM-RJ é sintetizado em tabela (Tabela 03) classificando áreas de potencial ocorrência a escorregamentos futuros. Os materiais de entrada são a base topográfica da Ampla AS na escala 1: 10.000 e fotos aéreas oblíquas tomadas em sobrevoos de helicóptero (2014). A carta da CGU vincula o deferimento de processos e consequente aprovação de projetos sem obras de contenção somente a classe baixa quanto a ocorrências de futuros escorregamentos. Estas áreas classificadas como baixa estão associadas a solos residuais com menos de 30 graus de inclinação e setores com rede de drenagem e arruamentos adequados (regular). Em contrapartida, as áreas classificadas em crítica, muito alta, alta e moderada são definidas pelo relatório da CGU como não recomendável a construção de moradias, contudo é especificado nesta que em casos de obras de contenção os empreendimentos podem ser viabilizados. Nesta metodologia o uso atual do solo pode definir classes com necessidade de obras de contenção e os cortes de taludes podem influir nesta caracterização. Uma vez que esta carta não define percursos e atingimentos dos escorregamentos, o mapeamento de perigo é preconizado pelo relatório da CGU como mais específico.

Tabela 3 - Método de mapeamento da CGU sistematizado em tabela.

Unidade	PEP/km ²	Declividade do Terreno	Curvatura do Terreno	Uso Atual do Solo	Classe de Potencial de Ocorrência de Escorregamentos
CDM	59.5	-	-	-	CRÍTICA
CO	4.0	>30°	CÔNCAVO	E+DCA	CRÍTICA
				REGULAR	ALTA
			CONVEXO	E+DCA	MUITO ALTA
				REGULAR	ALTA
		<30°	-	E+DCA	ALTA
			-	REGULAR	MODERADA
TA	3.0	>30°	-	E+DCA	CRÍTICA
		<30°	-		MUITO ALTA
SSR	2.0	>30°	-	E+DCA	CRÍTICA
				REGULAR	ALTA
		<30°	CÔNCAVO	E+DCA	ALTA
				REGULAR	MODERADA
			CONVEXO	E+DCA	MODERADA
				REGULAR	BAIXA
SR	1.7	>30°	CÔNCAVO	E+DCA	CRÍTICA
				REGULAR	MUITO ALTA
			CONVEXO	E+DCA	MUITO ALTA
				REGULAR	MODERADA
		<30°	-	E+DCA	ALTA
				REGULAR	BAIXA
AF	1.1	>30°	-	-	CRÍTICA
		<30°	-		ALTA

Fonte CGU/ DRM-RJ (2015).

2.3 Carta de Perigo / Risco – Projeto GIDES

A metodologia de perigo a movimentos gravitacionais de massa foi concebida durante o projeto GIDES com a participação internacional da JICA. Este projeto foi uma estratégia do governo brasileiro de absorver a expertise do Japão no que tange desastres naturais e a partir desta parceria elaborar manuais técnicos. Este método apresenta um caráter mais específico em relação aos demais visto que considera a trajetória e alcance de potenciais atingimento dos materiais envolvidos nos fenômenos a partir de características topográficas. O Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Neste, as áreas de perigo são uma “condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável dentro de um certo período de tempo”. Neste manual são definidas e exemplificadas as formas, características e inclinações expressas a partir de curvas de níveis que remetem potenciais chances de ocorrência de quatro tipologias. As ocorrências de movimentos gravitacionais de massa caracterizadas a partir deste manual são: deslizamento planar, fluxo de detritos, queda de blocos e deslizamento rotacional (tabela 04). Os deslizamentos são também conhecidos como escorregamentos e segundo o Manual pode ser subdividido em deslizamento rotacional ou planar.

Tabela 4 - Classificação das tipologias de movimentos gravitacionais de massa.

Processo	Geometria, Material e Dinâmica
Queda	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. • Rolamento de matação • Tombamento
Deslizamento	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes materiais • Geometria e materiais variáveis • Planares: solos pouco espessos; solos e rochas com plano de fraqueza • Rotacionais: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas
Fluxo de detritos	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslizamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte Manual CPRM, 2018.

2.3.1 Áreas de potencial perigo

Na classificação do método de Perigo são definidas duas zonas de potencial perigo a movimentos gravitacionais de massa sendo estas: área crítica (AC) e área de dispersão (AD). Como verificado pela tabela 05 neste método são apresentados conceitos específicos como: probabilidade de deflagração e atingimento bem como a energia potencial do movimento e as áreas de deposição do material mobilizado.

Tabela 5 - Caracterização das áreas de perigo em análise de escritório.

Análise de Perigo de Escritório (APE)	Área crítica (AC)	Área com maior probabilidade à deflagração de movimentos gravitacionais de massa (MLIT, 1988, Ministry of Construction, 1996, Ministry of Construction, 2009) e atingimento do material mobilizado (MLIT, op.cit., Ministry of Construction, op.cit.). Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma concentrada na área afetada (Ministry of Construction, op.cit., Hayashi et al., 2000).
	Área de dispersão (AD)	Área sujeita a deposição do material mobilizado durante um movimento gravitacional de massa (MLIT, 1988, Ministry of Construction, 1996, Ministry of Construction, 2009). Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma dispersa na área afetada (Ministry of Construction, op.cit., Hayashi et al. 2000).

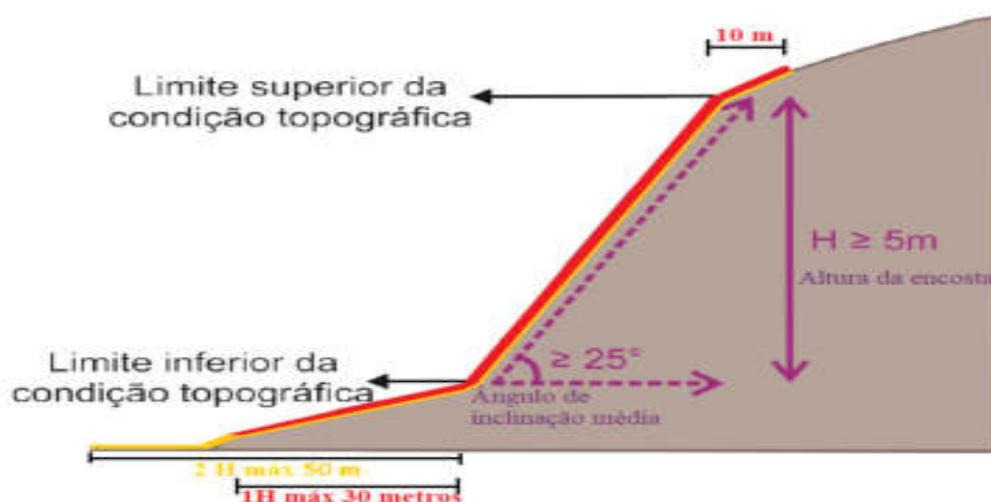
Fonte: Manual CPRM (2018)

No método aplicado a deslizamento planar encostas com mais de 5 metros de altura e inclinação maior ou igual a 25° são projetadas em distâncias horizontais perpendiculares a montante em 10 metros e a jusante com máximo de 30 metros e uma vez a altura (1H) na área crítica e 50 metros e duas vezes a altura (2H) para área de dispersão. O manual define as áreas críticas e de dispersão como sendo zonas de potencial perigo a movimentos gravitacionais de massa. As características necessárias para a deflagração desta tipologia definida por deslizamento planar podem ser exemplificadas em perfil (figura 07) e os locais de interesse na análise de perigo e risco incluem áreas de atingimento (figura 08) que podem estar associados a um relevo suave a plano.

A elaboração das cartas de áreas de potencial perigo são executadas no município de Nova Friburgo pela PMNF que utiliza uma base topográfica 1: 5.000 oriunda da empresa EMBRAERO e imagens aéreas georreferenciadas de alta resolução (pixel de 0,2 m) de 2010 da empresa ENGEMAP e bases cartográficas produzidas pela Gerência de Geomática/ PMNF tais como uma ortofoto de alta resolução de 2018, curvas de nível e modelos 3D. A delimitação de áreas de

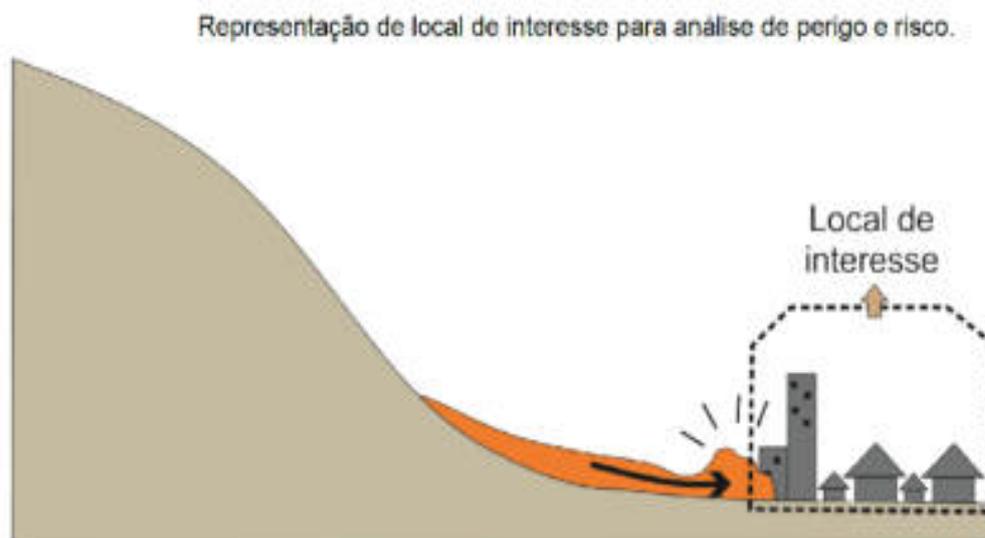
potencial perigo segue uma sequência de quatro etapas sendo estas: 1ª Identificação das encostas (figura 09), 2ª Suavização dos MDEs (figura 10), 3ª Projeção das linhas de atingimento (figura 11) e 4ª Delimitação das áreas de perigo previstas no método (figura 12) e inserção destas áreas em uma ortofoto de alta resolução (figura 13). No final é feita uma vistoria para extrair medidas de campo e a partir de um hipsômetro a laser modelo TruPulse 200B de acurácia +/- 0.3m conferir se existem possíveis incongruências de inclinações associados a base topográfica utilizada e a mensuração em escala local.

Figura 7 - Critério topográfico brasileiro utilizado para a definição de áreas de potencial perigo a deslizamento planar.



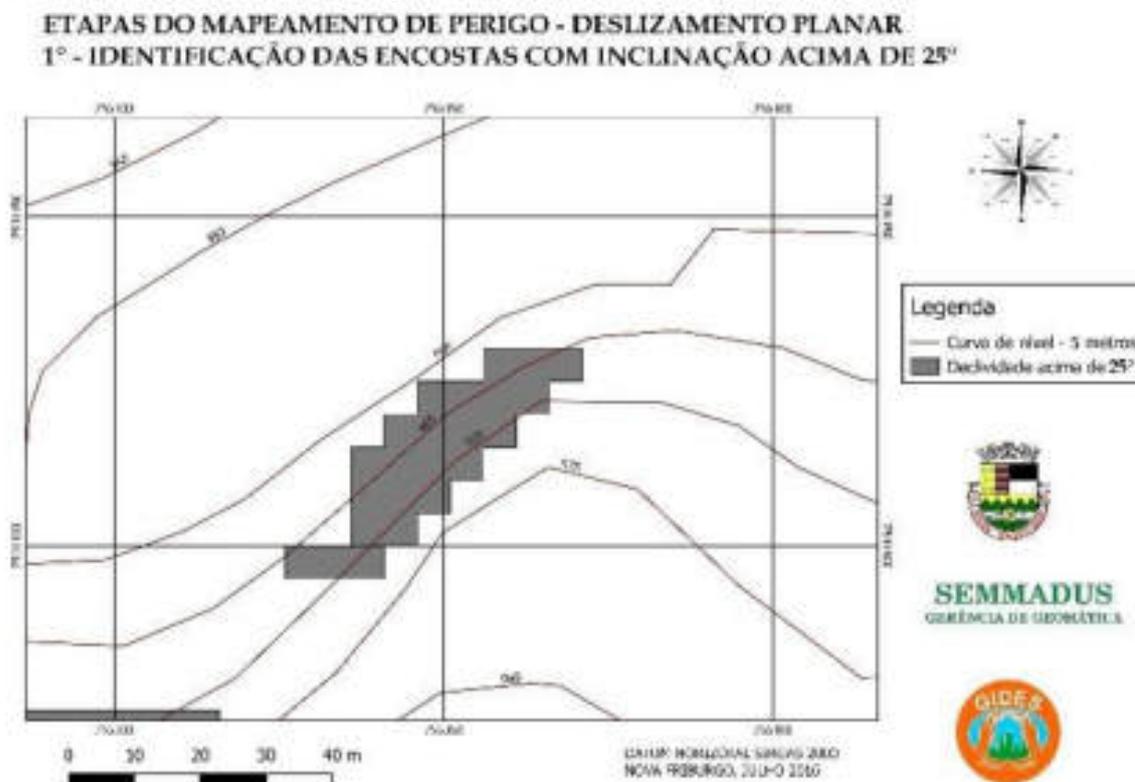
Fonte: Manual CPRM (2018) adaptado pelo autor.

Figura 8 - Área de atingimento definida como local de interesse para análise de perigo.



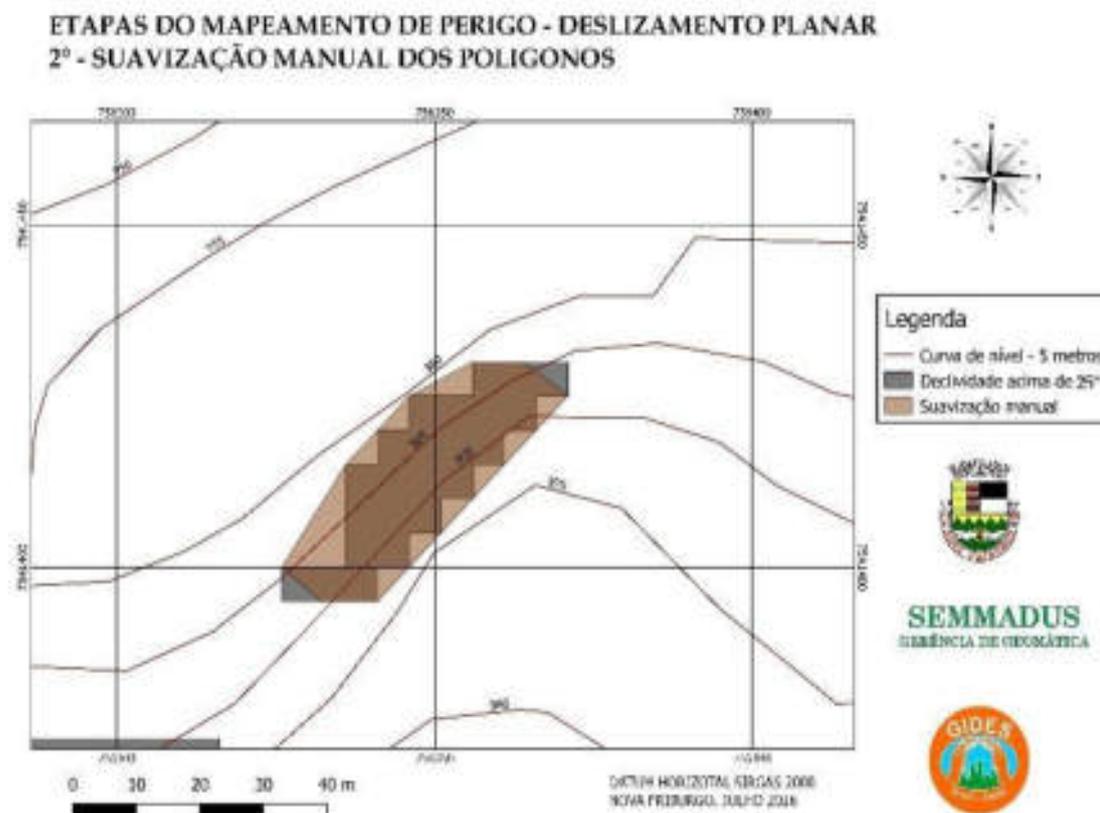
Fonte: Manual CPRM, 2018 .

Figura 9 - Modelo Digital de Elevação de um talude $\geq 25^\circ$ (*Shapefile*).



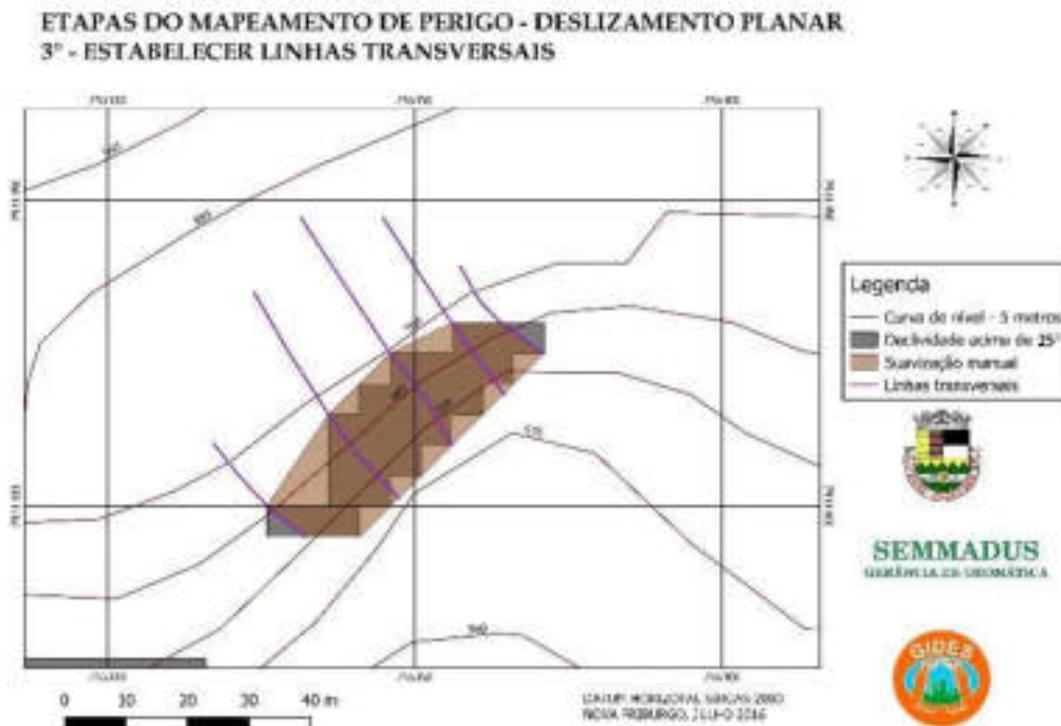
Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 10 - União de vértices para naturalizar a encosta ($X \geq 25^\circ$) – Suavização manual.



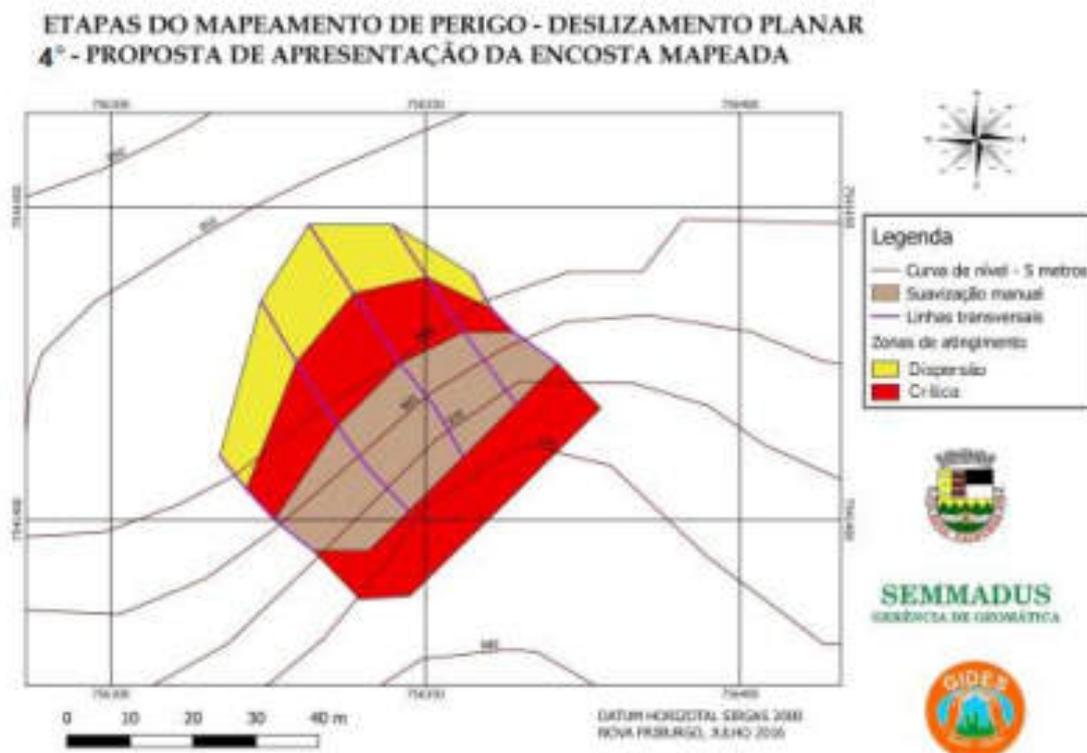
Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 11 - Delimitação de linhas para mensurar as medidas das zonas de atingimento a partir dos vértices da base e topo da encosta.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 12 - Delimitação dos polígonos das áreas crítica e de dispersão.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 13 - Áreas crítica (vermelha) e de dispersão (amarela) com ortofoto.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

2.3.2 Graus de perigo

A análise do grau de perigo a deslizamento planar se baseia em indícios de instabilidade do terreno a partir de processos dinâmicos no meio físico que de forma natural ou induzida por fatores antrópicos. A verificação do grau de perigo é feita na área de deflagração para deslizamentos planares utilizando sempre o ângulo de 25° de inclinação para encostas suscetíveis ao movimento. Os processos físicos atuantes podem ser presentes, ausentes ou marcantes e a ação destes processos associados ao tipo de indício resultam na qualificação do grau de perigo (tabela 06).

Tabela 6 - Qualificação do grau de perigo, baseada em indícios de instabilidade do terreno, referente ao processo de deslizamento planar.

Indício de instabilidade	Ausente	Presente	Marcante
Trincas de terreno	P2	P3	P4
Árvores inclinadas			
Grau de Saturação ou Surgência		P4	
Degrau ou Subsidência			
Cicatriz de Deslizamento			

Fonte: Manual CPRM (2018).

Conforme demonstrado na tabela 06 alguns indícios bastam que estejam presentes para que a classificação seja de um perigo muito alto e favoreça a ocorrência desta tipologia de movimento de massa. Um exemplo prático são degraus de abatimento e/ou cicatrizes de deslizamento que uma vez que estejam presentes é o suficiente para classificar o perigo do terreno como muito alto (P4). Quando a encosta não apresenta processos de instabilidade a classificação pode resultar em um perigo médio (P2), porém uma vez que neste tipo de vertente o processo seja marcante independente do indício ser trincas no terreno, árvores inclinadas, grau de saturação do material/ surgência de água, degraus de abatimento/ subsidência ou cicatriz de deslizamento a qualificação do grau de perigo será muito alto (P4). O perigo alto (P3) é representado por indícios de instabilidade presentes como árvores inclinadas, surgência ou trincas no terreno.

2.3.3 Níveis de Risco

O mapeamento de Risco é uma etapa posterior ao mapeamento de Perigo com o fator vulnerabilidade acrescido na análise. Segundo o Manual/ GIDES a vulnerabilidade é definida a partir da existência de construções civis localizadas na área de potencial perigo. O grau de vulnerabilidade é analisado a partir da combinação entre o tipo de construção (alvenaria com ou sem laudo técnico ou mista) e os danos estruturais presentes, ausentes ou marcantes (tabela 07).

Tabela 7 - Classificação da vulnerabilidade das construções.

Tipo	Danos Estruturais		
	Sem Danos	Danos Presentes	Danos Marcantes
Alvenaria (com laudo técnico)	V1	V3	V4
Alvenaria (sem laudo técnico)	V2	V4	V4
Madeira	V3	V4	V4
Mista	V3	V4	V4

Fonte: Manual CPRM (2018).

No manual GIDES o cruzamento da classe de vulnerabilidade das construções com o grau de perigo de um terreno resulta no nível de risco da área sob análise (tabela 08). O estudo de casos de construções civis perdidas por deslizamentos pretéritos caracteriza maior confiabilidade a um mapa de risco.

Tabela 8 - Método de mapeamento de Perigo/ Risco sistematizado em tabela.

Análise de Risco			Vulnerabilidade			
			V1	V2	V3	V4
Análise de Perigo APE [AC/AD] + APC [P1-P4]	P4	P4c	R4	R4	R4	R4
	P3	P3c	R3	R4	R4	R4
		P3d	R3	R4	R4	R4
	P2	P2c	R2	R3	R4	R4
		P2d	R2	R3	R4	R4
	P1	P1d	R1	R2	R3	R4

Fonte: Manual CPRM (2018).

2.4 Materiais e métodos para análise das cartas

Os materiais confeccionados são polígonos de cicatrizes de deslizamento e o perímetro georreferenciado das construções civis destruídas em 2011. Estes são desenvolvidos a partir de 5 etapas: 1ª Seleção de deslizamentos com perdas de construções civis em imagens do dia 19/01/2011 obtidas no software Google Earth Pro, 2ª Voo planejado com drone modelo Phantom4 no software DJI GO Pro, 3ª Processamento de ortomosaicos e modelagens 3D no software Pix4D, 4ª Demarcação das cicatrizes de deslizamentos planares, 5ª Delimitação dos polígonos das construções civis destruídas em imagens aéreas de alta resolução de 2010.

O método de análise das cartas é executado por meio da quantificação estatística de assertividade em relação as rupturas e/ ou polígonos de destruição causadas por deslizamentos planares. A carta de Suscetibilidade é avaliada somente pelas cicatrizes, ou seja, locais em que houve perda de solo e/ou rocha na deflagração do deslizamento. A estatística de cicatrizes foi a forma aderida na

avaliação metodológica deste trabalho para este tipo de carta. Uma carta Geotécnica de Aptidão Urbana deve determinar o vetor de crescimento das cidades por meio da viabilização de empreendimentos em áreas seguras. Portanto, a forma de avaliação para esta carta foi o cruzamento das classificações do mapeamento da CGU com os polígonos das construções civis destruídas. Por fim conforme o método caracterizado no manual GIDES a carta de Perigo/ Risco defini áreas de deflagração e atingimento. Logo, na avaliação deste método utilizou-se as cicatrizes e também os polígonos de destruição dos deslizamentos planares.

Os modelos digitais de elevação obtidos pelo software Quantum GIS são conferidos por medidas de campo com hipsômetro a laser modelo 200B de acurácia +/- 0.3m. Uma vez que todos os métodos levam em consideração o aspecto topográfico a avaliação é feita desde o cume da cicatriz até a construção destruída mais a jusante. A estimativa do cálculo de área em cada uma das cicatrizes de deslizamento e construções civis destruídas é feita para verificar qual é a classe (s) inclusa (s) com mais de 50% desta área. Na classe alta da carta de Suscetibilidade e na deflagração do Perigo/ Risco delimitado por inclinações maiores ou iguais a 25° espera-se um percentual igual ou superior a 85% de cicatrizes. Nas classes crítica, muito alta, alta e moderada da carta Geotécnica de Aptidão Urbana e também nas classes crítica e dispersão carta de Perigo/ Risco espera-se o mesmo percentual igual ou maior a 85%, porém neste caso para as construções civis destruídas. Uma metodologia de mapeamento geológico-geotécnico aprimorada e aquela que tem o aproveitamento de áreas edificáveis maior e consegue manter os acertos esperados.

A integração entre as cartas geológicas-geotécnicas é feita para ampliar as percepções de risco geológico em escala local e é constituída seis etapas conforme demonstrado através de um fluxograma (figura 14). Este foi estabelecido desta forma pois geralmente as UHTs são condizentes com a área ocupada por uma determinada unidade geológica-geotécnica.

Figura 14 - Fluxograma com a integração das cartas para mapeamento geológico-geotécnico.



Fonte: O autor, 2019..

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação dos métodos confere nas áreas de estudo as classificações quanto as áreas de deflagração de deslizamentos futuros nas cartas de Suscetibilidade e Geotécnica respectivamente nas escalas 1: 25.000 e 1: 10.000, porém deixam extrapolações de áreas ou incongruências que podem ser corrigidas com estudos mais detalhados em escala local. Durante o projeto GIDES servidores municipais da Gerência de Geomática/ PMNF receberam uma serie de embasamentos técnicos do CPRM – Serviço Geológico do Brasil e JICA – Agência de Cooperação Internacional do Japão para efetuar o mapeamento de Perigo/ Risco a movimentos de gravitacionais de massa do seu território.

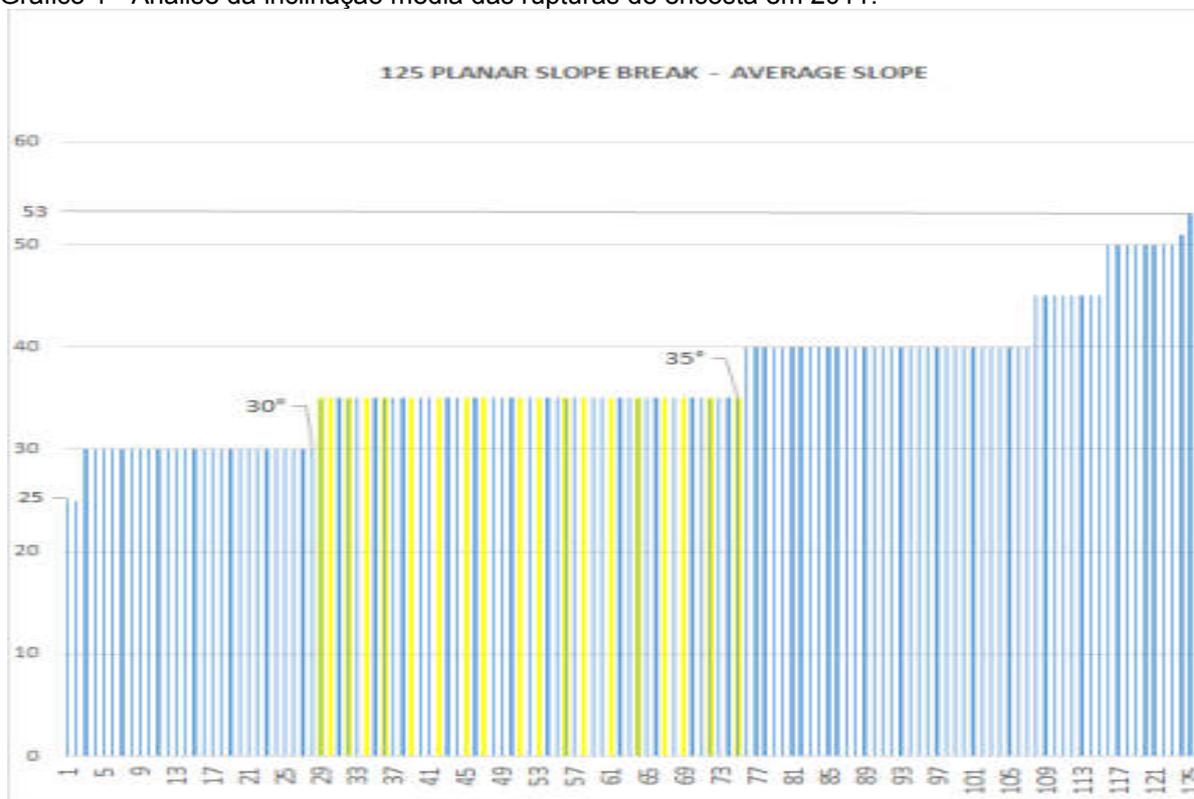
A capacitação técnica ofertada resultou em cartas de Perigo/ Risco em escala local e em dados estatísticos de deslizamentos planares associados ao evento geoclimático de 2011. Este trabalho corresponde a uma correlação entre os dados estatísticos de deslizamentos planares e os produtos gerados nas metodologias propostas em cada uma das cartas de mapeamento geológico-geotécnico. Nesta verificação são feitas análises genéricas individuais das metodologias. No caso das cartas de Perigo e Risco além dos resultados obtidos são demonstrados os procedimentos adotados pelo setor da Gerência de Geomática/ PMNF para confecção destas cartas a partir de etapas de escritório e de campo.

3.1 Carta de Suscetibilidade

A Carta de Suscetibilidade apresenta multicritérios que definem de forma qualitativa as características do meio físico expressas nos diversos municípios sendo um deles o fator declividade. De acordo com dados da PMNF, 125 rupturas de deslizamento com energia cinética destrutiva foram analisadas em Nova Friburgo pelo evento de 2011. Estas apresentam uma inclinação média superior a 25° em 100% dos casos (gráfico 01) averiguados na base topográfica 1: 5.000 o que confirma a metodologia neste aspecto. O gráfico demonstra que podem ocorrer

destruições de construções civis em inclinações médias de 25 a 30° e que existe um predomínio nas medidas de 30 a 35° além de um ângulo máximo de 53°. Logo, a inclinação maior ou igual a 25° apresentou-se nestes dados estatísticos como um fator fundamental na definição da classe de suscetibilidade alta.

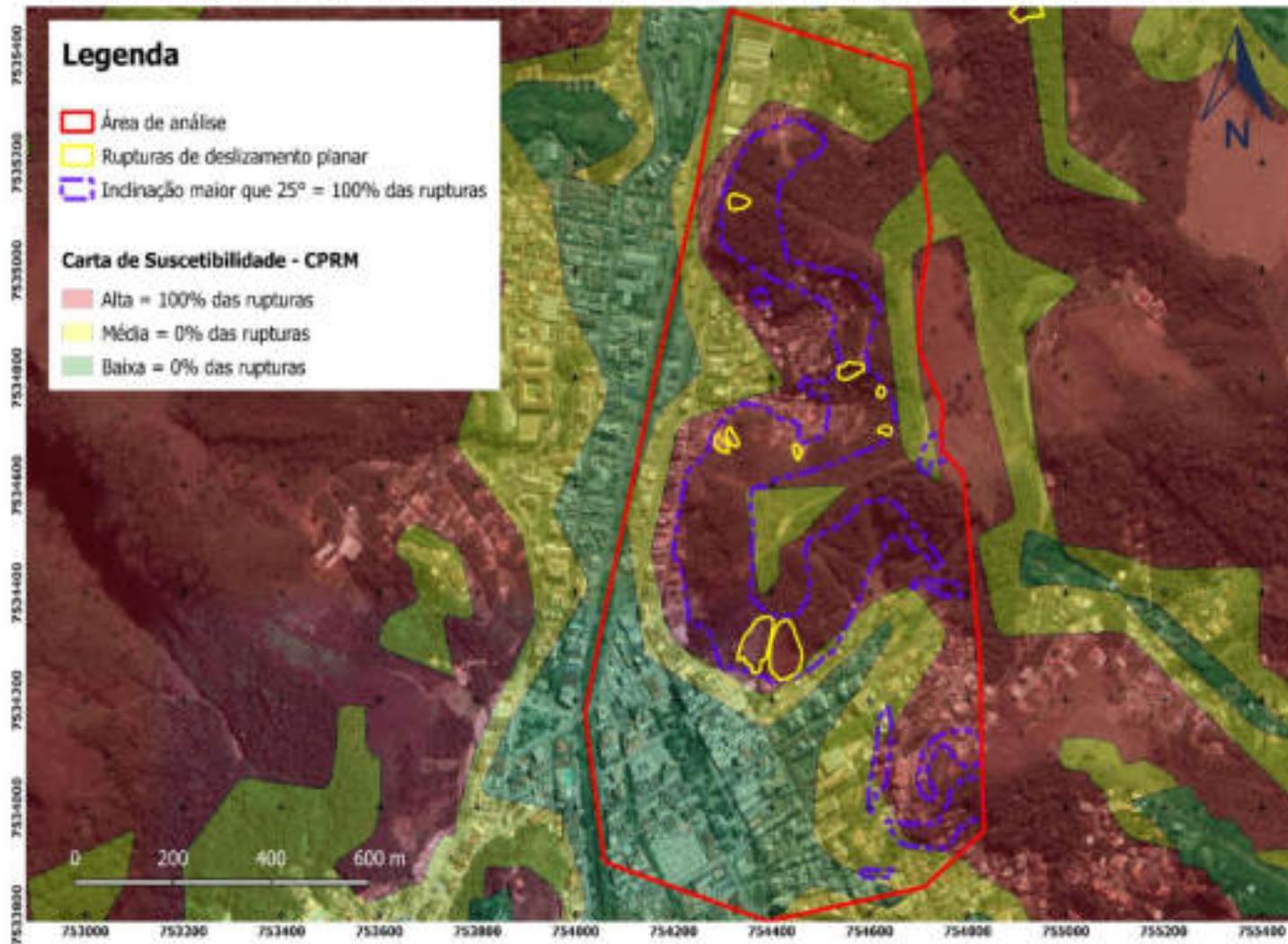
Gráfico 1 - Análise da inclinação média das rupturas de encosta em 2011.



Fonte: ROCHA (2018).

Na área de estudo rupturas foram verificadas conforme a proposta metodológica deste trabalho utilizando o software Google Earth Pro. O resultado desta análise confirma todas as rupturas na classe alta da Carta de Suscetibilidade e nenhuma na média e baixa. Em uma técnica mais simples utilizando inclinações iguais ou superiores a 25° o resultado também é de 100% dos casos, porém com menos da metade das áreas comprometidas a ocupação (figura 15). As demarcações de rupturas (figura 16) foram utilizadas para verificar a metodologia. Na área de estudo a carta de Suscetibilidade foi validada como um método capaz de cumprir com sua proposta original, porém, os 25° de inclinação possuem a mesma assertividade com maiores aproveitamentos de áreas.

Figura 15 - Área contendo 100% de rupturas na suscetibilidade alta.

ANÁLISE METODOLÓGICA - RUPTURAS DE DESLIZAMENTO POR CLASSE DE SUSCETIBILIDADE

Fonte: O autor, 2019..

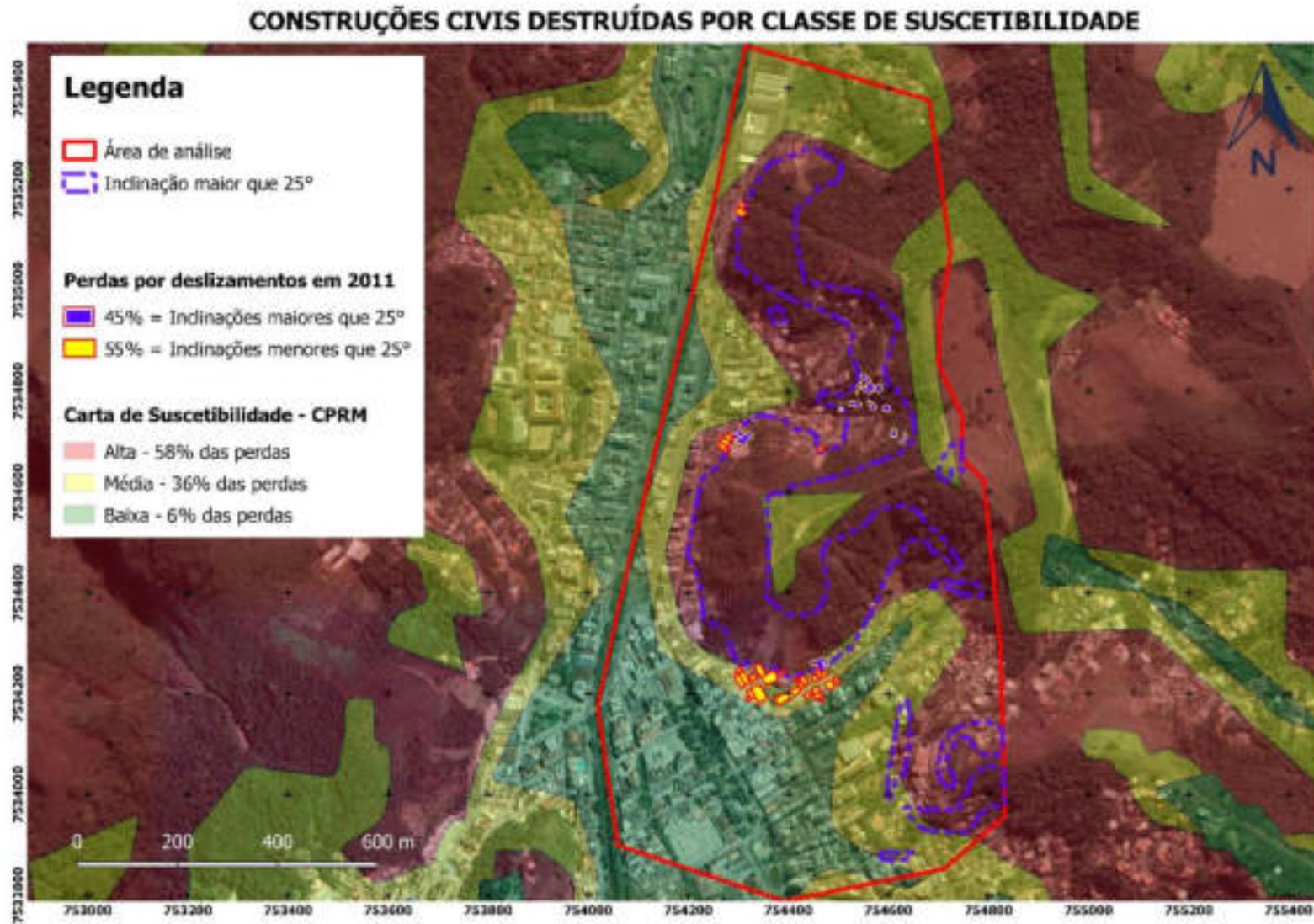
Figura 16 - Perímetro de ruptura planar.



Fonte: Google Earth Pro, 2011.

Uma carta de Suscetibilidade não inclui a trajetória dos materiais para áreas de potencial atingimento. O cruzamento de dados das construções civis perdidas em 2011 com a carta de Suscetibilidade foi uma forma de verificar finalidades além da proposta original desta carta, contudo, foi demonstrado um percentual de 42% de destruições nas classes média e baixa e 55% das perdas de construções civis em relevo plano (figura 17). Logo, visto o predomínio de perdas no atingimento tal método é eficaz na sua proposta, porém não pode ser utilizado de forma individual para direcionar o ordenamento territorial da expansão urbana da cidade.

Figura 17 - Carta de Suscetibilidade e análises complementares.



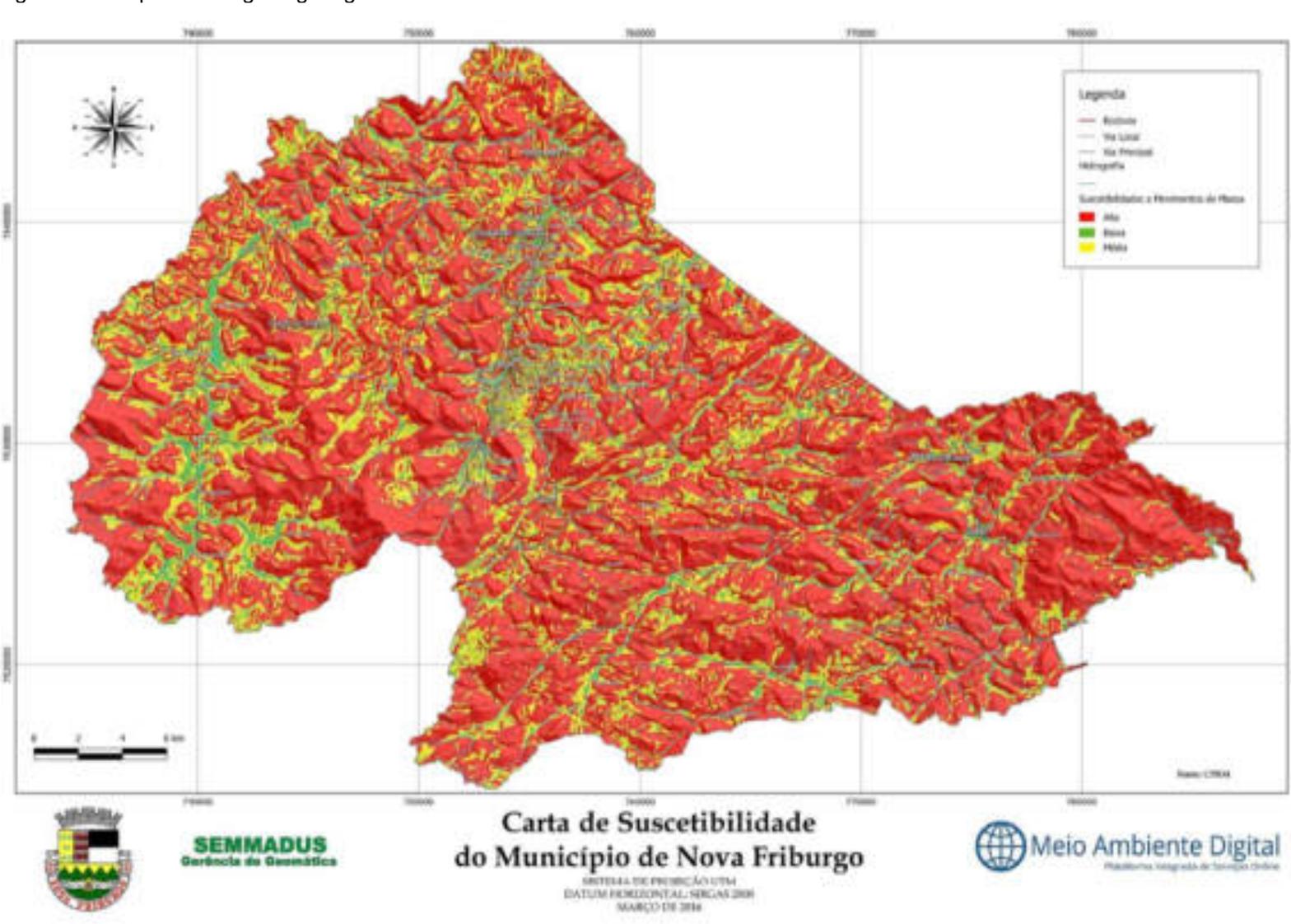
Fonte: O autor, 2019..

3.1.1 Mapeamento elaborado pelo União

O município de Nova Friburgo tem 933km² e apresenta em seu território uma carta de Suscetibilidade em escala 1: 25.000. Esta carta foi delimitada pela União por meio da CPRM e resulta nas classes definidas em alta, média ou baixa (figura 18). Desta área 70% se insere na classe alta, 25% na média e 5% na baixa. Na classe alta da carta de Suscetibilidade são necessárias aplicações de mapeamentos geológico-geotécnicos em maiores detalhes. De acordo com BITAR (2014) as cartas de Aptidão Urbana e de Riscos Geológicos são mais detalhadas do que a carta de Suscetibilidade de Nova Friburgo. O material em questão tem um caráter informativo ou consultivo portanto, pode ser utilizado para complementar informações de outros mapeamentos geológico-geotécnicos mais específicos com a atribuição legal e/ou técnica de orientar o vetor de crescimento das cidades.

Os fatores predisponentes a ocorrência de rupturas de deslizamentos da tabela classificatória da metodologia de suscetibilidade pode variar de acordo com o local avaliado. No caso de Nova Friburgo o fator litologia é o mesmo nas três classes já o fator tipologia de solo é diferente apenas na classe alta. O resultado ideal no caso desta carta geológica-geotécnica é a presença de um fator deflagrador distinto para cada uma das classes. No caso da inclinação do terreno o ângulo de 25° ou mais foi um fator essencial neste diagnostico pois de acordo com os estudos levantados neste trabalho a referida condição topográfica abrange um percentual de 100% das cicatrizes de deslizamentos planares.

Figura 18 - Mapeamento geológico-geotécnico da União.

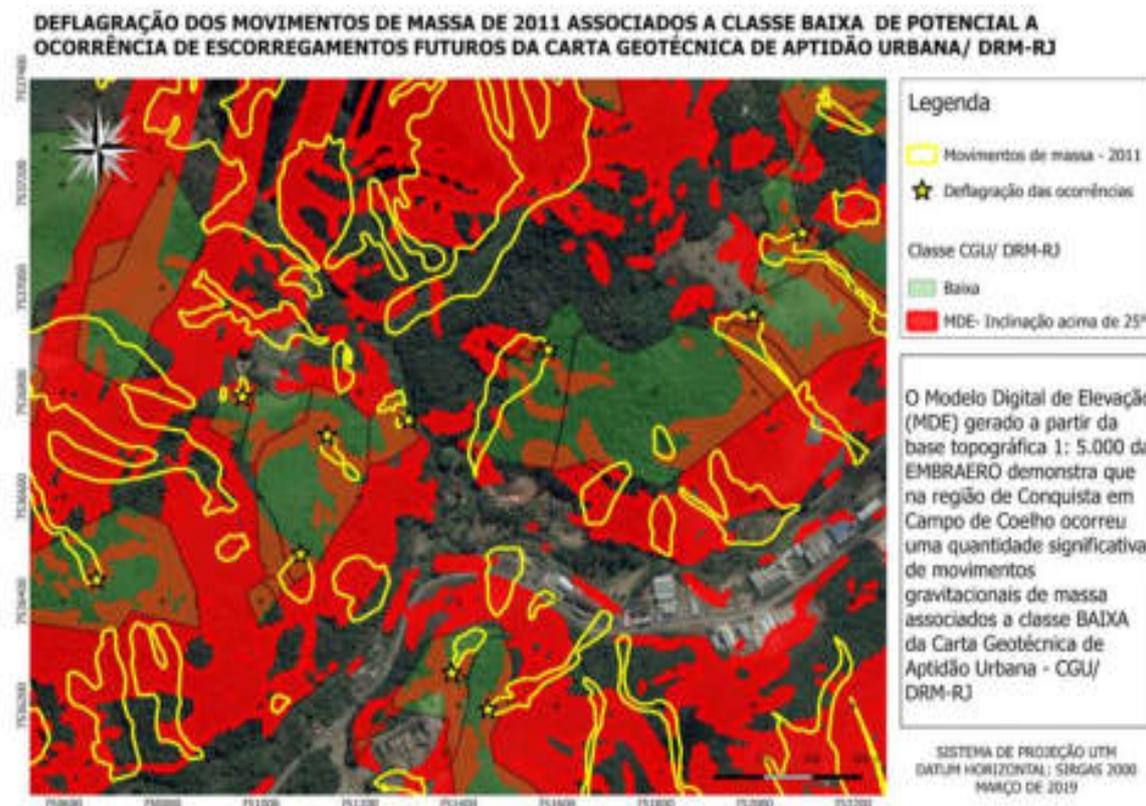


Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014).

3.2 Carta Geotécnica de Aptidão Urbana

O método CGU se difere das demais metodologias por utilizar o ângulo de 30° de inclinação enquanto 25° é o padrão aderido na Carta de Suscetibilidade e na Carta de Perigo a deflagração de deslizamentos planares. De acordo com os dados da GEGEO/ PMNF rupturas podem ocorrer e gerar destruições de construções civis em inclinações de 25 a 30°. Na localidade de Conquista em Campo do Coelho é evidente que a ausência da utilização da inclinação de 25° resulta na deflagração de ocorrências em áreas de potencial ocorrência de escorregamento classificadas como baixo na CGU de Nova Friburgo (figura 19).

Figura 19 - Cruzamento de dados do nível baixa da CGU com 25° de inclinação e movimentos gravitacionais de massa ocorridos em 2011.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

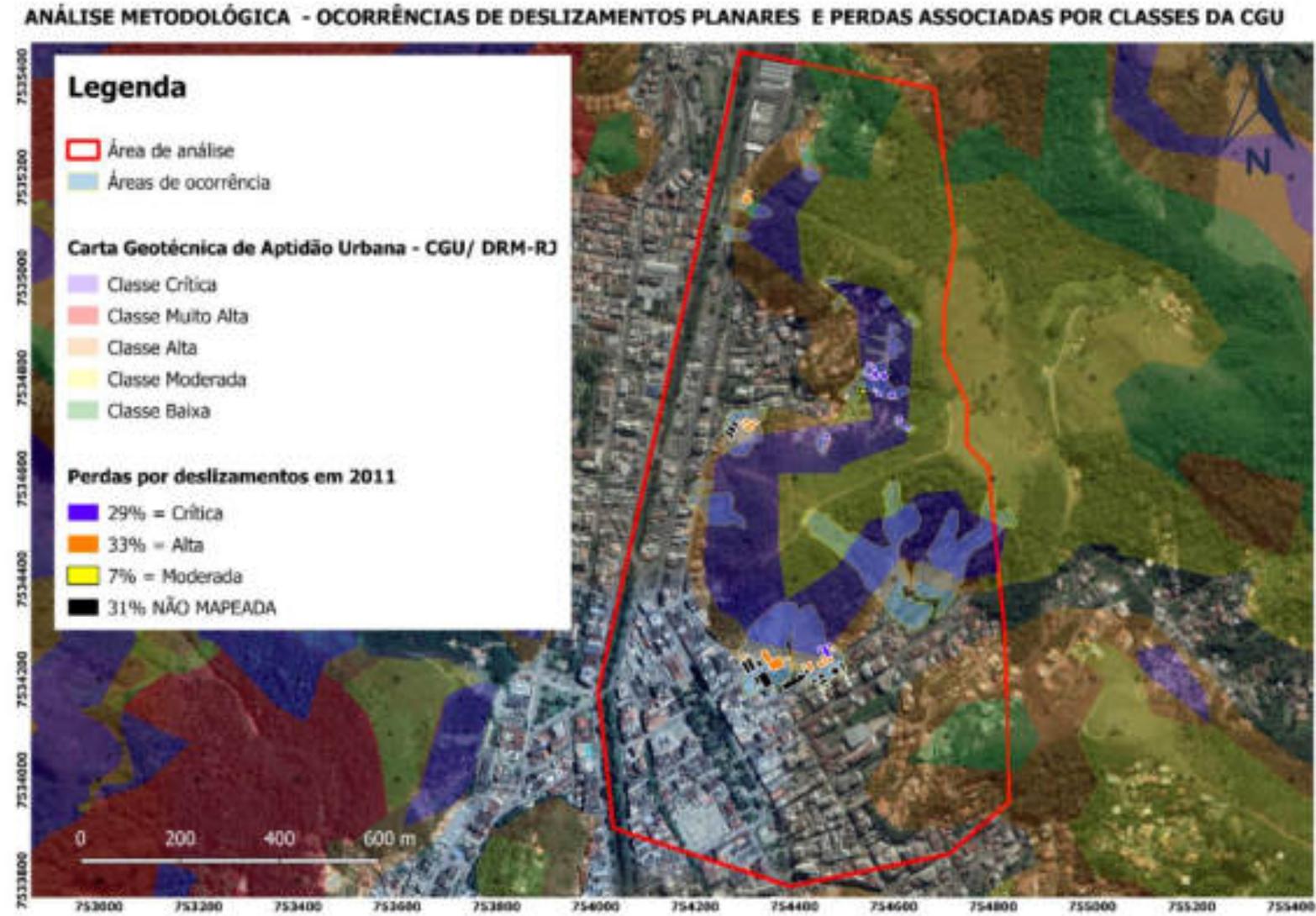
No bairro Vilage e em parte do centro da cidade de Nova Friburgo ocorreram deslizamentos em 2011 que resultou em um total de 55 destruições entre casas e prédios conferindo aproximadamente 7% das perdas de construções civis ocorridas em todo território municipal. Estas destruições ocorridas na área de estudo 02

demonstram que 100% destas perdas estavam associadas a deslizamentos planares, porém 31% destas estavam na área não mapeada da CGU (figura 20). Os demais percentuais das classes são: crítica (29%), alta (33%) e moderada (7%) e o somatório destas classes definem a assertividade do método atingindo 69% na área em análise. O aproveitamento de área passível a ocupação totaliza 53% e corresponde a soma da área da poligonal não mapeada em 47% com os 6% de área da classe baixa. No centro a verificação 3D da condição topográfica do terreno complementada por mensurações de campo obtidas com hipsômetro confirma 14 destruições em área plana (figura 21). No Vilage a mesma análise confere mais 3 perdas de construções civis também em área plana (figura 22) nas proximidades do sopé da encosta. As imagens em alta resolução deixam evidente a alta capacidade destrutiva em locais de relevo plano fora do talude $\geq 30^\circ$. Logo, as inconformidades da CGU se situam predominantemente nas áreas mais aplainadas e não mapeadas.

Os depósitos de tálus na CGU estão nas classes muito alto para inclinações menores do que 30° e crítico para locais de relevo mais declivoso. Os exemplos vistoriados por GEGEO/ PMNF neste caso confirmam o caráter classificatório da CGU que vincula instabilidade local a esta unidade uma vez que blocos alóctones estão constantemente suscetíveis a processos de acomodação. Esta apresenta-se ocupando os sopés das encostas de relevos acidentados compostos predominantemente por blocos de rochas de tamanhos variados envoltos ou não por uma matriz areno-silto-argilosa frequentemente saturada - Pastore & Fontes (1998).

O Condomínio da Pedra no bairro Vale dos Pinheiros, distrito Sede de Nova Friburgo compõe esta unidade (figura 23). No bairro de Varginha na coordenada UTM do ponto X: 757.121, Y: 7.531.485 (zona 23 K) verifica-se uma ruptura em depósito de talús com a deposição de matacões ao lado de uma casa (figura 24 – A). No Vale das Palmas, bairro Maria Teresa a unidade de tálus (figura 24 – B) resultou em deslizamentos planares ocorridos em 2011. Por fim no condomínio Monte Belo no distrito de Mury é observado na coordenada UTM do ponto X: 756.221, Y: 7.529.845 (zona 23 K) a presença de um muro e uma residência com trincas em um depósito de tálus (figura 25). De forma atípica o solo transportado do condomínio Monte Belo apresenta uma cor vermelha e segundo Pastore & Fontes 98 “Depósitos de tálus mais antigos, provavelmente de idade terciária, apresentam quase sempre a matriz laterizada” o que justifica a cor verificada em vistoria local na coordenada UTM: X= 755998 e Y= 7529638, zona 23 K (figura 26).

Figura 20 - Análise da metodologia da carta Geotécnica em escala local com 69% de acerto e 53% de aproveitamento de área.



Fonte: O autor, 2019..

Figura 21 - Verificação 3D no Centro para deslizamento planar.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 22 - Verificação 3D no bairro Vilage para deslizamento planar.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 23 - Sobrevoio com Drone modelo Phantom4.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 24 - Depósito de tálus localizado no Condomínio da Pedra, Vale dos Pinheiros (a) Depósitos de tálus localizado no bairro de Varginha, distrito Sede e (b) tálus no Vale das palmas no bairro de Maria Teresa no distrito de Conselheiro Paulino – Vistoria local.



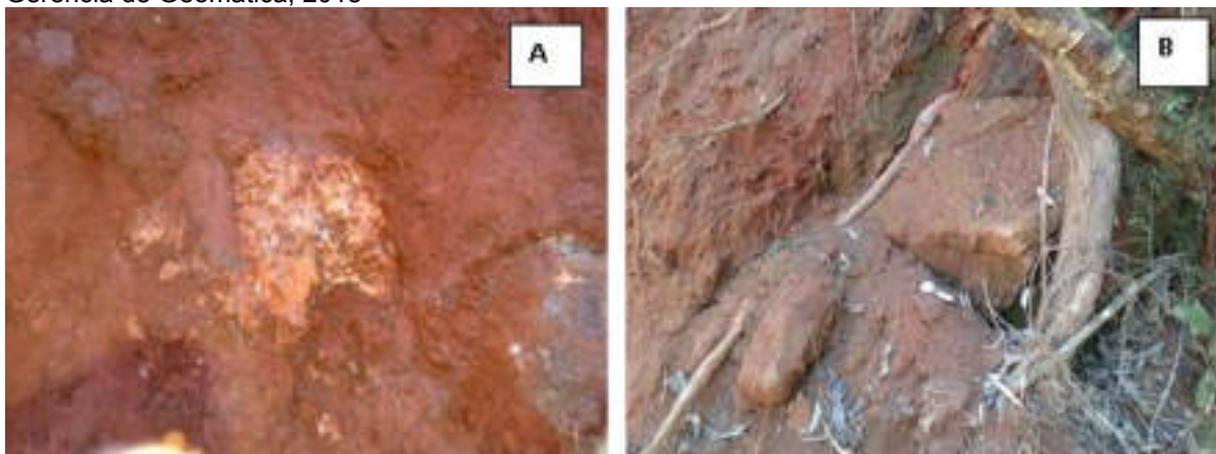
Fonte: Gerência de Geomática, 2016 e 2017.

Figura 25 - Depósitos de Tálus localizado no cond. Monte Belo no distrito de Mury – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2018.

Figura 26 - Tálus com matriz laterizada no condomínio Monte Belo. Vistoria local. Efetuada pela Gerência de Geomática, 2018



Fonte: Gerência de Geomática, 2018.

A Cartografia Geotécnica de Aptidão Urbana da CGU/ DRM-RJ define áreas de potencial ocorrência a escorregamentos futuros pautados no uso das unidades geológicas-geotécnicas. De acordo com a metodologia a unidade de maior potencial é a de depósitos de corrida de massa sequenciada por depósitos de colúvio, depósitos de tálus, solo residual raso sobre rocha ($X \leq 2$ metros de espessura), solo residual profundo e quedas de blocos. O critério usado para definir a representatividade de cada unidade frente as ocorrências foi o percentual de casos encontrados por área territorial ocupada por unidade. O resultado da CGU de Nova Friburgo definiu apenas um polígono de ocorrência para a unidade de maior potencial ocorrência a escorregamentos futuros deixando os canais de drenagem em grande parte como áreas não mapeadas o que resulta em um problema para manter os mais de 85% de acertos esperados visto que 25% de 838 pontos de destruição por movimentos de massa de 2011 estão nestas áreas (GEGEO/ PMNF).

Na área de estudo 02 não foram encontrados depósitos alóctones nas encostas $\geq 25^\circ$ o que remete neste caso um enfoque na análise de solos residuais que reportam nesta área a alteração de rochas ígneas. Apesar das proporções de índices de ocorrência por área serem mais altos nas unidades de colúvio e tálus ou comparado com solos *in situ* (NADE/ DRM-RJ, 2015) em parte significativa dos casos estes solos transportados não podem definir escorregamentos futuros de forma abrangente visto que o município de Nova Friburgo é constituído de 84% de solos residuais (gráfico 02) e pelo menos 74% dos deslizamentos planares de 2011 ocorreram neste tipo solo (gráfico 03) de caráter geotécnico mais estável. A constatação de que solos autóctones resultam em grandes percentuais de ocorrências de deslizamentos bem como a confirmação de que as zonas de atingimento não foram definidas na CGU gera lacunas que comprometem o uso deste material sem que se avance estudos mais específicos em escala local.

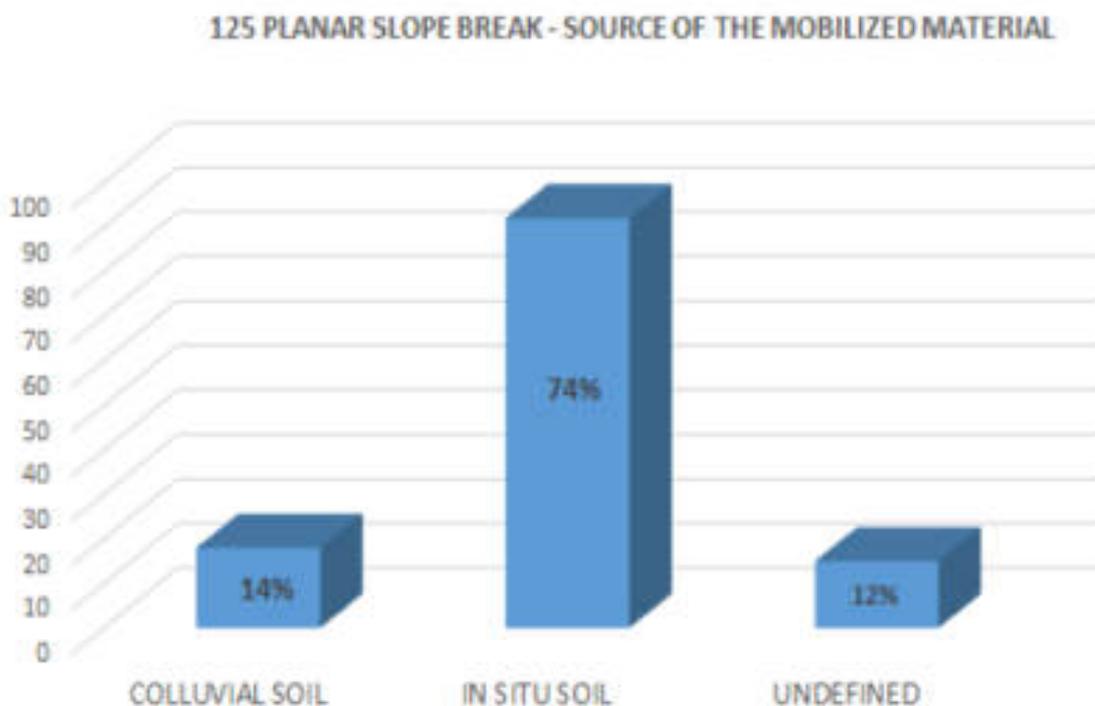
O relatório técnico da CGU não faz nenhuma menção a área não mapeada desta Carta e o resultado da análise deste trabalho demonstra que as construções civis perdidas podem se concentrar nestas zonas. Uma vez que a delimitação dos depósitos de corrida de massa foi definida na CGU por um único polígono entende-se que tais zonas possam ter potencial perigo a fluxo de detritos uma vez que grande parte destas áreas estão associados a drenagens.

Gráfico 2 - Soma de 80% SSR com 4% SR, resultado em 84% de solo in situ para o município de Nova Friburgo.



Fonte: NADE/ DRM-RJ (2015).

Gráfico 3 - Análise do tipo de material mobilizado em 2011.



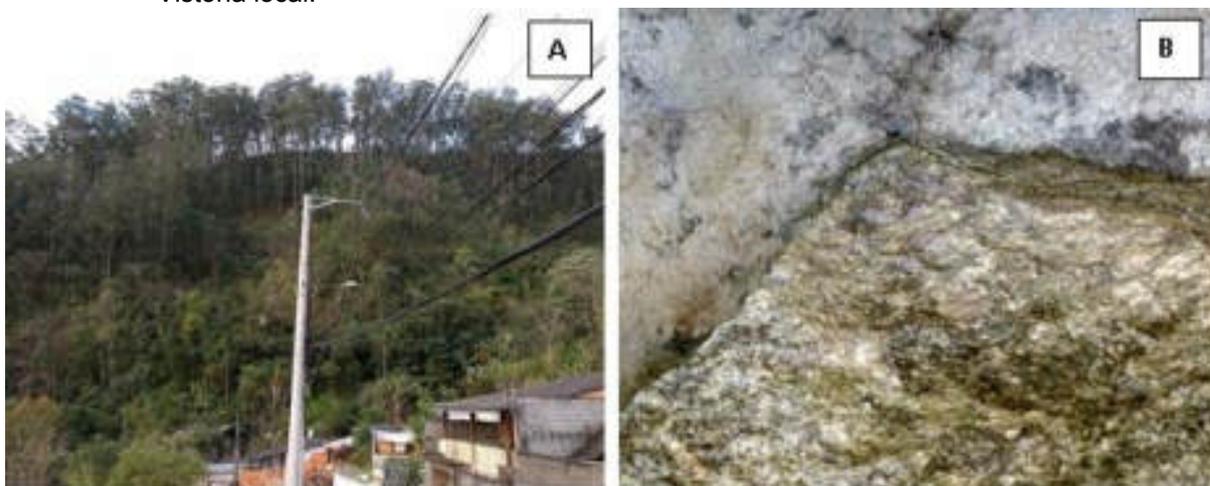
Fonte: ROCHA (2018).

A caracterização de processos atuantes por unidade geológica-geotécnica foi feita sobretudo na área de estudo 01 e mais pontualmente nos bairros Três Irmãos e Duas Pedras. A unidade geológica-geotécnica afloramento rochoso foi verificado na

encosta do bairro Três Irmãos, solos rasos sobre rocha na rua Luís Carestiato do Parque Maria Teresa, solos residuais espessos no Conjunto Habitacional Lagoa Seca, depósitos de colúvio na rua Farmacêutico Alberto Viêira no Parque Maria Teresa e ao lado do colégio estadual da rua Cinésio Rocha. Na encosta entre as ruas Cinésio Rocha e a rua Professora Zuleika Ramos Valença de forma atípica foram verificadas unidades geológicas-geotécnicas distintas na mesma encosta sendo estas: depósitos de aterro, colúvio, solo residual profundo com blocos e afloramento rochoso. Por fim um depósito de corrida de massa é verificado a montante do Hospital São Lucas em Duas Pedras.

De acordo com o relatório técnico da CGU a unidade que predomina no município de Nova Friburgo é solos rasos ($X \leq 2m$) sobre rocha. Na encosta da rua Luís Carestiato situada no Parque Maria Teresa em Conselheiro Paulino está presente esta unidade de solo raso sobre rocha (figura 27 - A) com registro de deslizamentos. Este talude natural de 54° de inclinação média apesar de esta recoberto por eucaliptos possui algumas porções aflorantes e horizonte de solos delgados a saprolíticos (figura 27 - B).

Figura 27 - Solo raso sobre rocha - Parque Maria Teresa, Conselheiro Paulino, Nova Friburgo – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

No bairro Três Irmãos em Conselheiro Paulino (figura 28 - A) a unidade afloramento rochoso apresenta juntas de alívio, juntas tectônicas e foliações que combinadas a uma inclinação de mais de 50° resultam em movimentos do tipo deslocamento de lascas (figura 28 - B). Estas encostas contem obras de contenção (figura 28 - C) desenvolvidas na porção mais inclinada deste substrato rochoso.

O histórico desta área é marcado pela ocorrência de deslizamento planar raso marcada pela exposição do afloramento rochoso e posteriormente em 2012 por quedas de blocos com recorrência em janeiro de 2019. Neste caso foram determinantes para a recorrência do deslocamento três razões principais: 1ª combinação de planos estruturais da rocha, 2ª obras de contenção situadas a montante da base da encosta (figura 28 - D), 3ª características topográficas favoráveis a deflagração do movimento ($X \geq 50^\circ$).

Figura 28 - Afloramento rochoso - Três Irmãos, Conselheiro Paulino, Nova Friburgo – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

O Conjunto Habitacional Lagoa Seca, bairro Maria Teresa, distrito de Conselheiro Paulino se insere em uma encosta contida em um morro circular formado por solo residual espesso argiloso e rosado com uma camada amarela mais arenosa superior (figura 29). O indicativo marcante de instabilidade é uma cicatriz de deslizamento planar (figura 30 – A). Esta foi delimitada a partir de imagem aérea de alta resolução (figura 30 - D). Os elementos suscetíveis são pegmatitos tabulares e

contatos abruptos de camadas de solo (figura 30 – B e C). Os pegmatitos podem resultar em sobrecargas hídricas e conseqüentemente áreas de atingimentos com destruição a 156 metros mensurados da base da zona de ruptura. Nesta área a classificação da CGU em escala 1: 10.000 é incongruente com a realidade pois define o local em questão como solo raso sobre rocha. Logo, na aplicação deste método verifica-se que é crucial estudos mais detalhados com escalas cartográficas de maiores resoluções para que os limites de unidades geológica-geotécnicas possam ser alterados conforme o detalhamento preferencialmente em escala local.

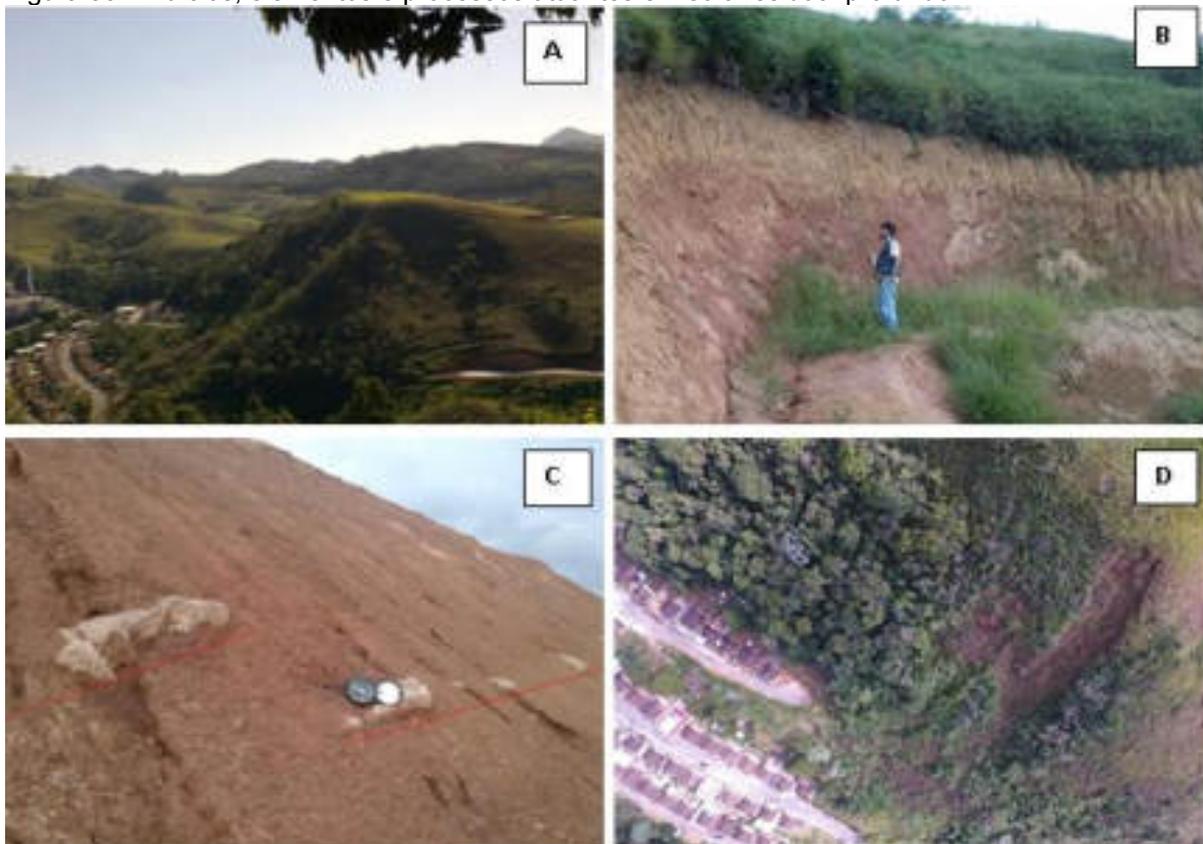
Os solos de colúvio são encontrados entre a rua Farmacêutico Alberto Vieira (figura 31 – A) e a rua Cinésio Rocha. O colúvio forma uma área continua com predomínio de um depósito de aterro com fragmentos de lixo (figura 31 – B) variando de 0,5 a 3 metros de espessura. Em Duas Pedras a montante do Hospital São Lucas diagnosticou-se em 2016 a unidade geotécnica de um depósito de corrida de massa (figura 32 – A). Este é resultado da deposição do evento geoclimático de 2011 de um fluxo de detritos com deslocamento mínimo de 350 metros registrado na rodovia que pode ser acrescido de trajetórias não registradas mais a montante associado ao deslocamento de grandes blocos arredondados e esféricos (figura 32 – B).

Figura 29 - Solo residual profundo.



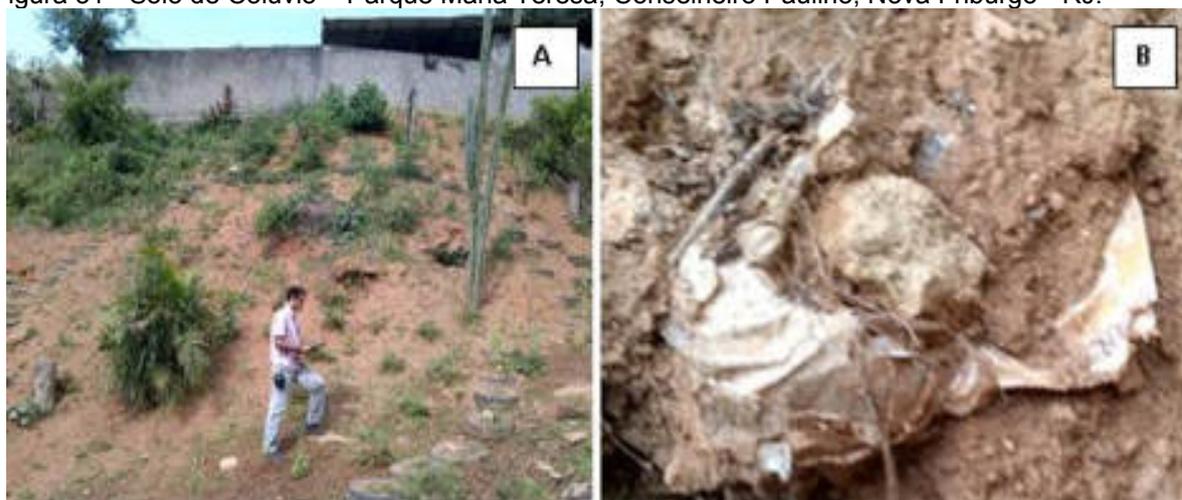
Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

Figura 30 - Índícios, elementos e processos atuantes em solo residual profundo.



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

Figura 31 - Solo de Colúvio – Parque Maria Teresa, Conselheiro Paulino, Nova Friburgo - RJ.



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

Figura 32 - Depósito de corrida de massa – Duas Pedras, Nova Friburgo – RJ.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016

O conjunto de verificações estatísticas e práticas do método da cartografia geotécnica demonstra os solos autóctones apresentam maiores áreas e percentuais de registros de deslizamentos planares atrelados ao evento de 2011, porém, os processos que potencializam a deflagração desta tipologia de movimento gravitacional de massa são mais comuns em solos alóctones. Entende-se que para definir as categorias por unidades geotécnicas tal como efetuado pela CGU de Nova Friburgo é necessário um grande acervo de informações envolvendo a intensidade dos processos atuantes, tempos de recorrência e proporção de áreas ocupadas pelas unidades em função do quantitativo de ocorrências registradas.

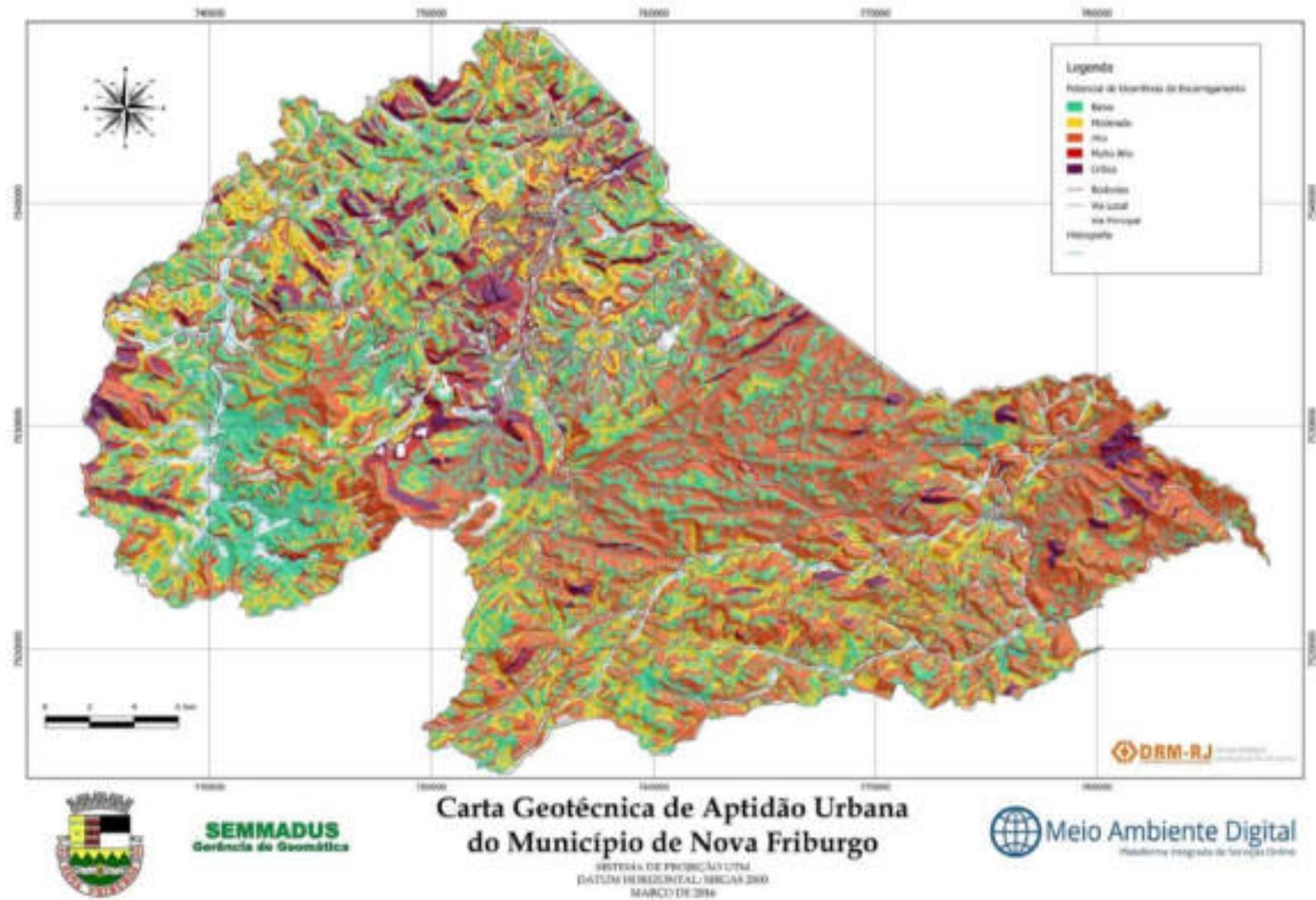
3.2.1 Mapeamento elaborado pelo Estado

Os estudos e diagnósticos do NADE/ DRM-RJ resultaram na carta Geotécnica de Aptidão Urbana do município de Nova Friburgo. Neste foram definidos 5 classes mapeadas e uma não mapeada. A CGU é dividida em classes mapeadas como crítico, muito alto, alto, moderado e baixo (figura 33). Nesta carta as áreas de potencial ocorrência de escorregamentos futuros têm a classificação baixo marcado por solos autóctones com uso e ocupação regular (rede de drenagens e arruamentos adequados ou suficientes) e menos de 30° de inclinação. Este é a única classe que nestas condições mencionadas é permitido a execução de novos empreendimentos e compõe 23% do território. Portanto de acordo com a CGU em 68% do município são necessárias implementações de obras de contenção adequadas antes de ocupação do terreno em questão e 9% não está mapeado.

As classificações moderado e alto da CGU de Nova Friburgo somam uma área equivalente a 60% do município e ambas as classes podem ter solos residuais em inclinações menores que 30°, porém diferindo da classe baixa estas áreas podem ter grande quantidade de cortes de talude para moradias, ruas e redes de drenagens inadequadas ou insuficientes bem como cicatrizes de escorregamentos recentes. O nível alto da CGU é a classe de maior área ocupada do município e pode estar associado também a solos autóctones rasos e profundos com inclinações inferiores a 30°. Os níveis crítico e muito alto somam apenas 8% da área do município de Nova Friburgo e os depósitos alóctones de tálus e corridas de massa estão somente definidos nestas zonas bem como as áreas de afloramentos rochosos. As áreas rochosas apesar de apresentarem o menor índice de ocorrências de deslizamentos foi classificado nas maiores classes da CGU a fim de evitar a ocupação destas zonas que podem ser propensas a quedas de blocos.

A execução da carta Geotécnica de Aptidão Urbana na gestão de risco está vinculada a lei 12.608/ 2012, porém, uma vez que rupturas de deslizamentos também ocorrem em vertentes entre 25 e 30° de inclinação recomenda-se nestes casos o uso da carta de Suscetibilidade. A CGU é um material de caráter intermediário entre uma carta de Suscetibilidade e uma carta de Perigo portanto, carece de estudos mais específicos de mapeamento geológico-geotécnico.

Figura 33 - Mapeamento geológico-geotécnico do Estado.



Fonte: NADE/ DRM-RJ (2015).

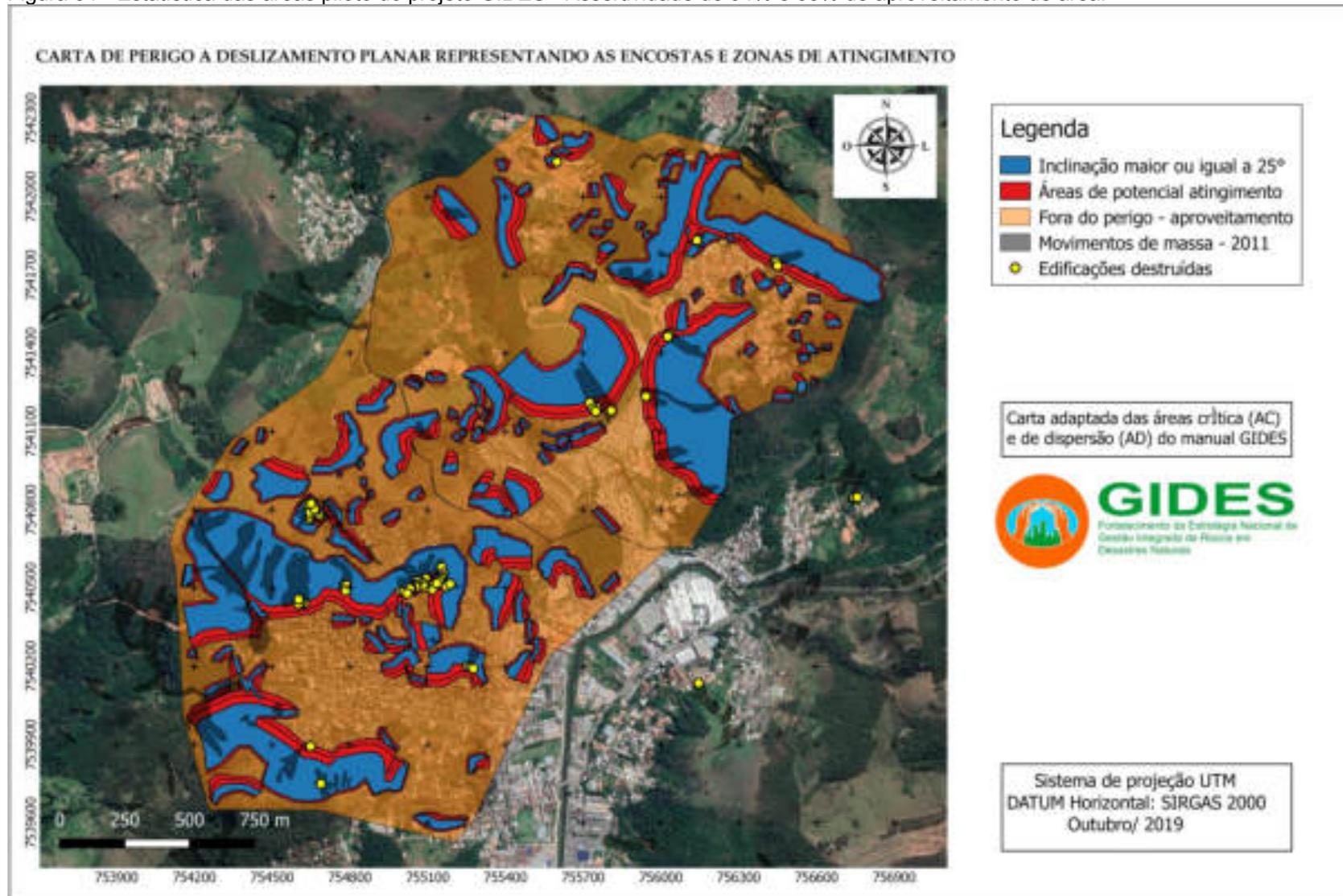
3.3 Carta de Perigo/ Risco – Projeto GIDES

O Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres – GIDES apresenta uma técnica simples para o mapeamento de deslizamentos planares baseados em preceitos topográficos para definição de áreas de deflagração e também de atingimento frente a uma ocorrência. A eficácia deste tipo de mapeamento geológico-geotécnico é confirmada nas áreas piloto do projeto GIDES. O resultado frente aos pontos de construções civis destruídas em 2011 foi de 94% de acerto com um aproveitamento de áreas aptas a ocupação de 58% e 81% de perdas em inclinações menores que 25° (figura 34). Visto que na área 01 de estudo 81% dos acertos se vincula aos locais de topografia mais suave percebe-se que a eficácia deste método depende integralmente de delimitar áreas de atingimento caso contrário a assertividade seria apenas de 13%.

Em uma verificação realizada na área 02 de estudo o percentual de assertividade é contabilizada por poligonais georreferenciados das construções perdidas nos deslizamentos do evento geoclimático de 2011. O resultado remete grande confiabilidade ao método empregado com 95% de acerto e 53% de aproveitamento (figura 35). Por se tratar de um método mais específico obtido em escala local foi verificado um percentual de acerto muito superior em relação a metodologia CGU com uma diferença significativa de 26% e aproveitamento equiparado de áreas viáveis a novas ocupações

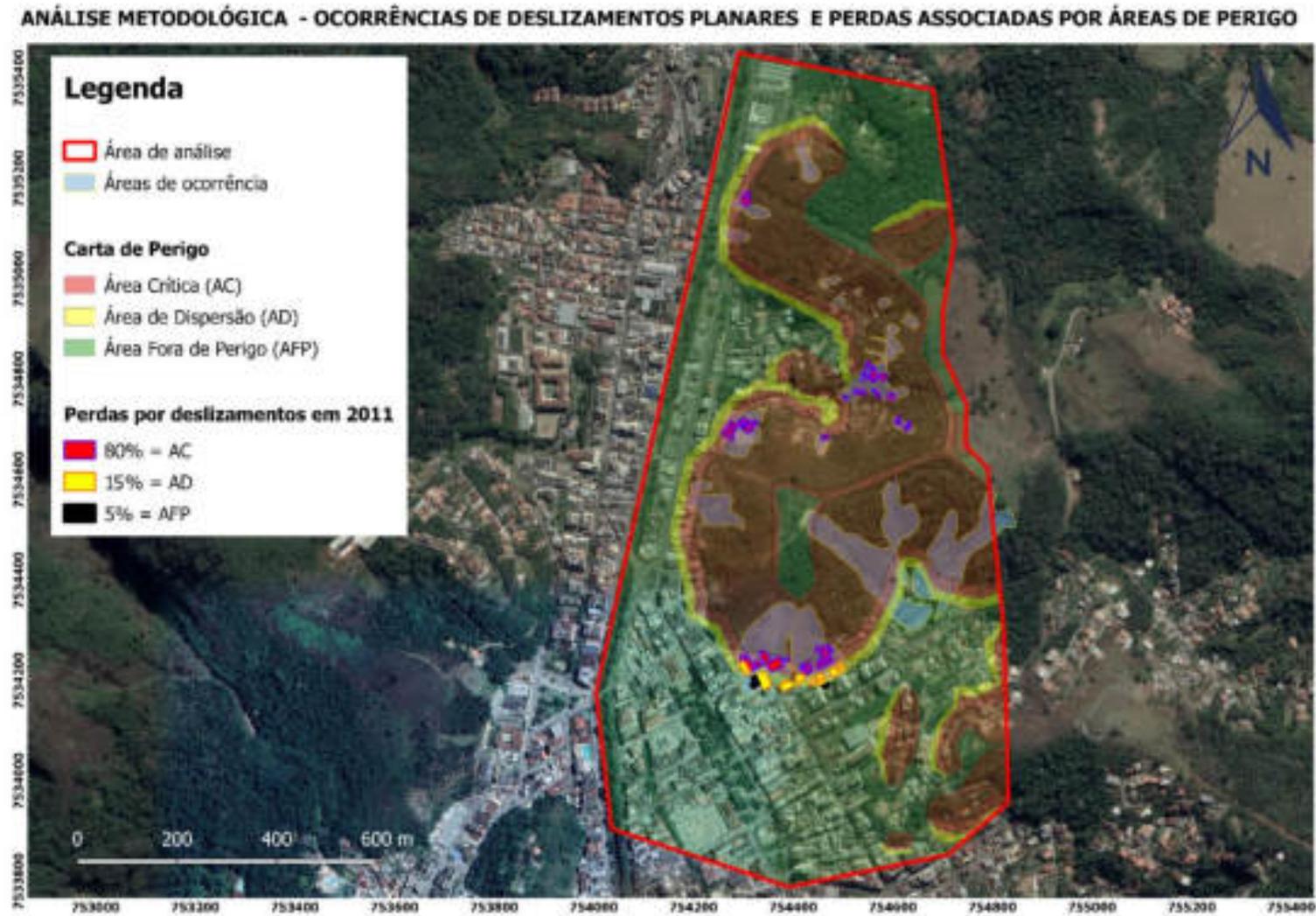
Conforme estabelecido pelo manual do projeto GIDES existem etapas de campo e escritório para obter o risco individual de uma habitação. A etapa de escritório é executada para definir as áreas de potencial perigo a tipologia de movimento gravitacional de massa escolhida para análise. As etapas geradas em vistorias de campo definem os graus de perigo e classes de vulnerabilidade das edificações. A prática deste conjunto de procedimentos que resulta no nível de risco de uma habitação associada a movimentos gravitacional de massa do tipo planar será demonstrada nos próximos itens deste trabalho a fim de que outras prefeituras possam replicar a metodologia estabelecida ao longo deste projeto.

Figura 34 - Estatística das áreas piloto do projeto GIDES - Assertividade de 94% e 58% de aproveitamento de área.



Fonte: ROCHA, 2018, adaptado pelo autor .

Figura 35 - Análise da metodologia da Carta de Perigo/ Risco em escala local, com 95% de acerto e 53% de aproveitamento de área.

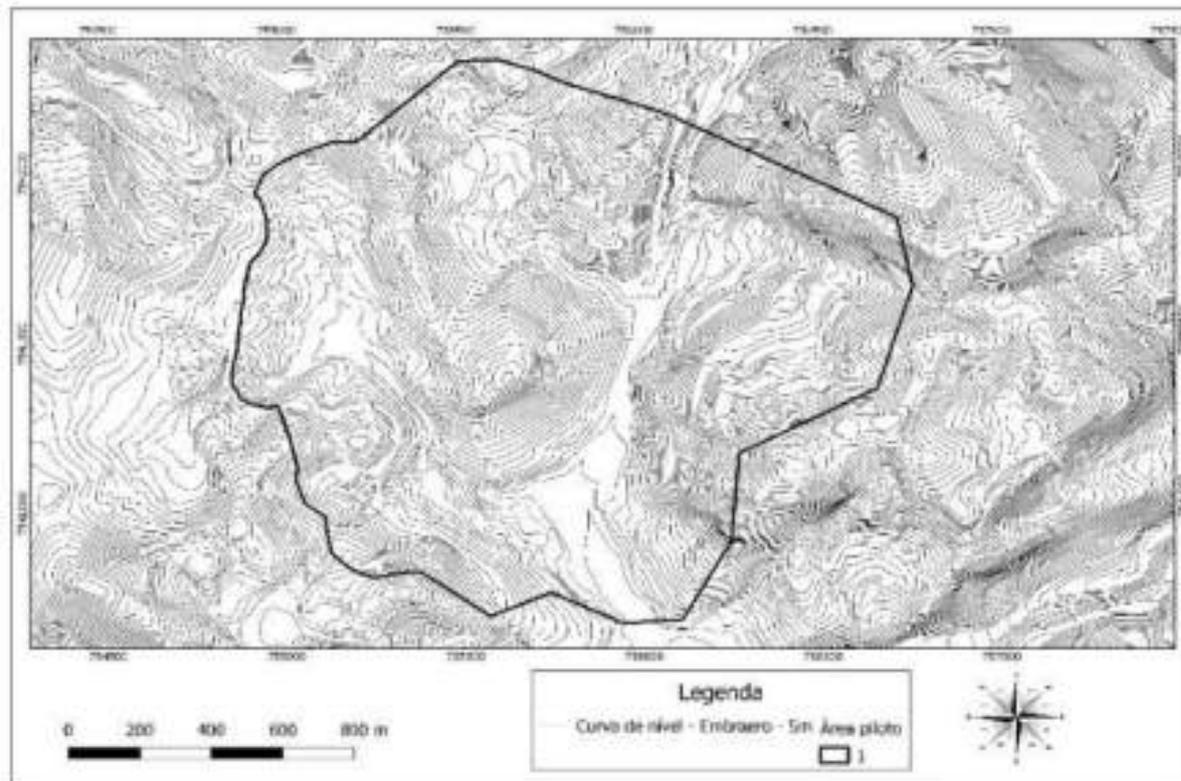


Fonte: O autor, 2019.

3.3.1 Delimitação das áreas de potencial perigo

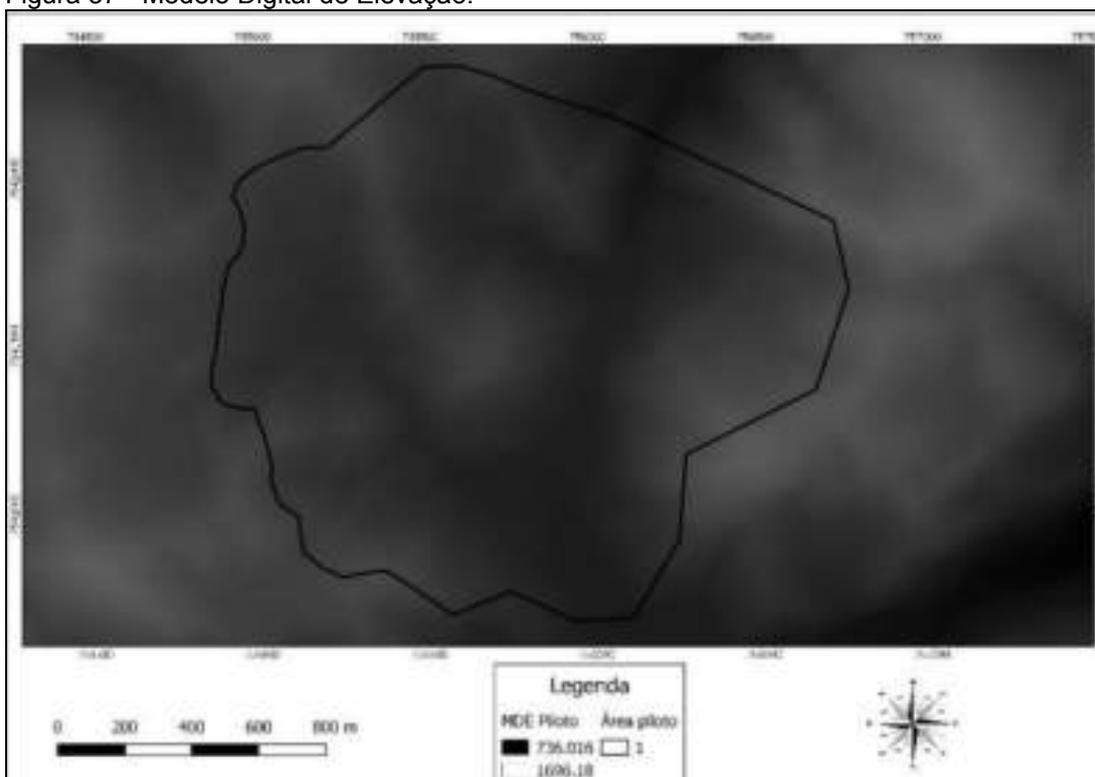
O resultado dos Modelos Digitais de Elevação - MDEs da Gerência de Geomática -GEGEO/ PMNF foram produzidos em 2016 no *software* Quantum Gis versão 2.18.0 no Datum Horizontal Sirgas 2000 com material de entrada sendo curvas de nível em formato *Shapefile*, confeccionadas pela empresa Embraero Aerofotogrametria Ltda. no ano de 2015 com equidistância de 5 metros (figura 36). As ferramentas de geoprocessamento resultam no arquivo *Raster* do Modelo Digital de Elevação – MDE (figura 37). Neste em é calculado as inclinações iguais ou superiores a 25° (figura 38) e por fim converte-se este arquivo *Raster* em *Shapefile* (figura 39). Os MDEs gerados são a base do mapeamento e possuem a próxima etapa também em escritório. Esta consiste na delimitação das áreas de potencial perigo utilizando o dado de entrada dos MDEs confeccionados por mecanismos de geoprocessamento.

Figura 36 - Curva de nível de 5 em 5 metros.

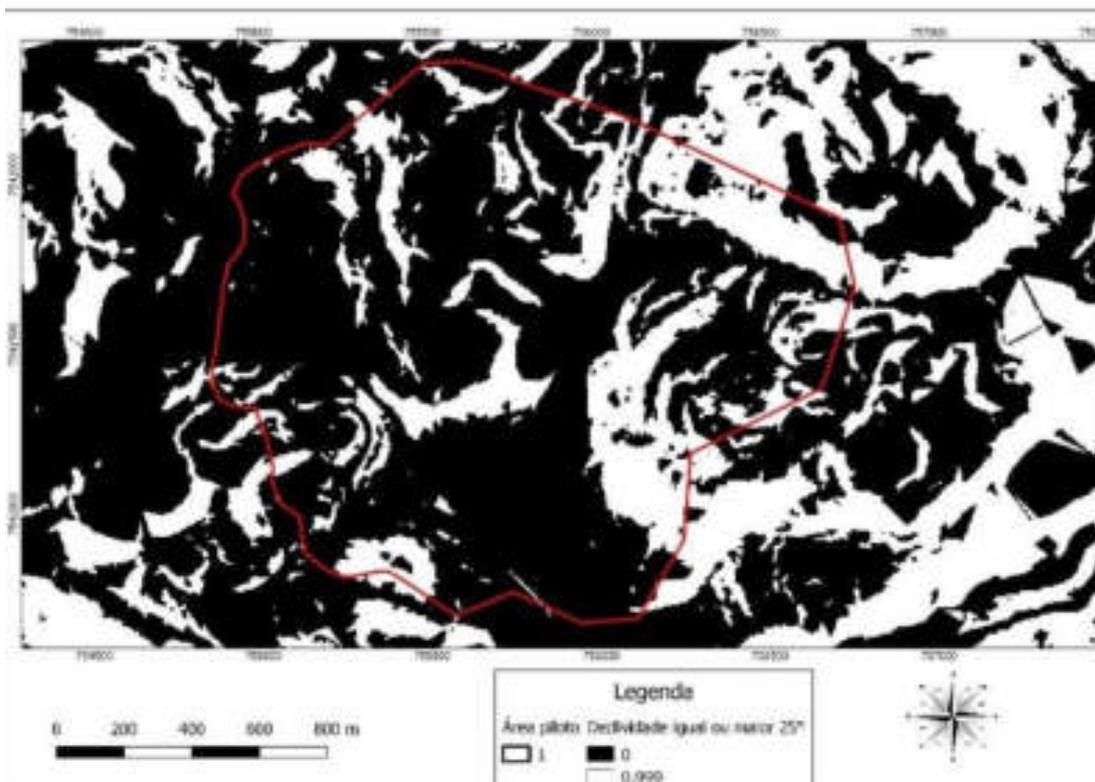


Fonte: PEREGRINI (2017).

Figura 37 - Modelo Digital de Elevação.

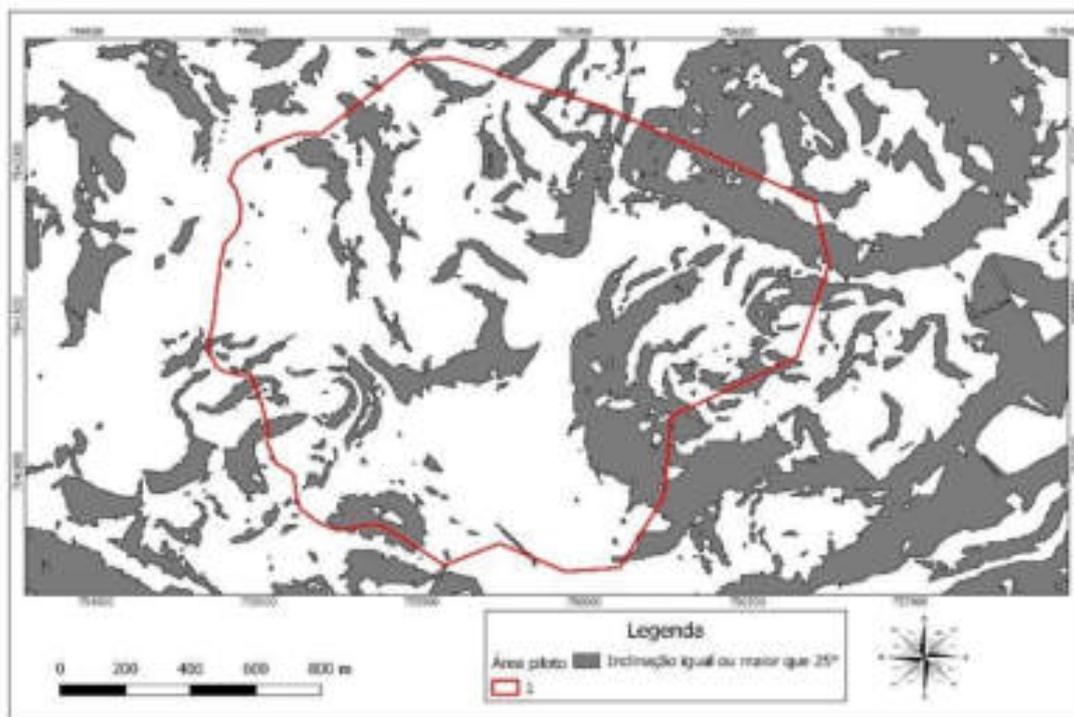


Fonte: PEREGRINI (2017).

Figura 38 - Modelo Digital de Elevação com Inclinações $\geq 25^\circ$ (Raster).

Fonte: PEREGRINI (2017).

Figura 39 - Modelo Digital de Elevação com Inclinações $\geq 25^\circ$ (*Shapefile*).

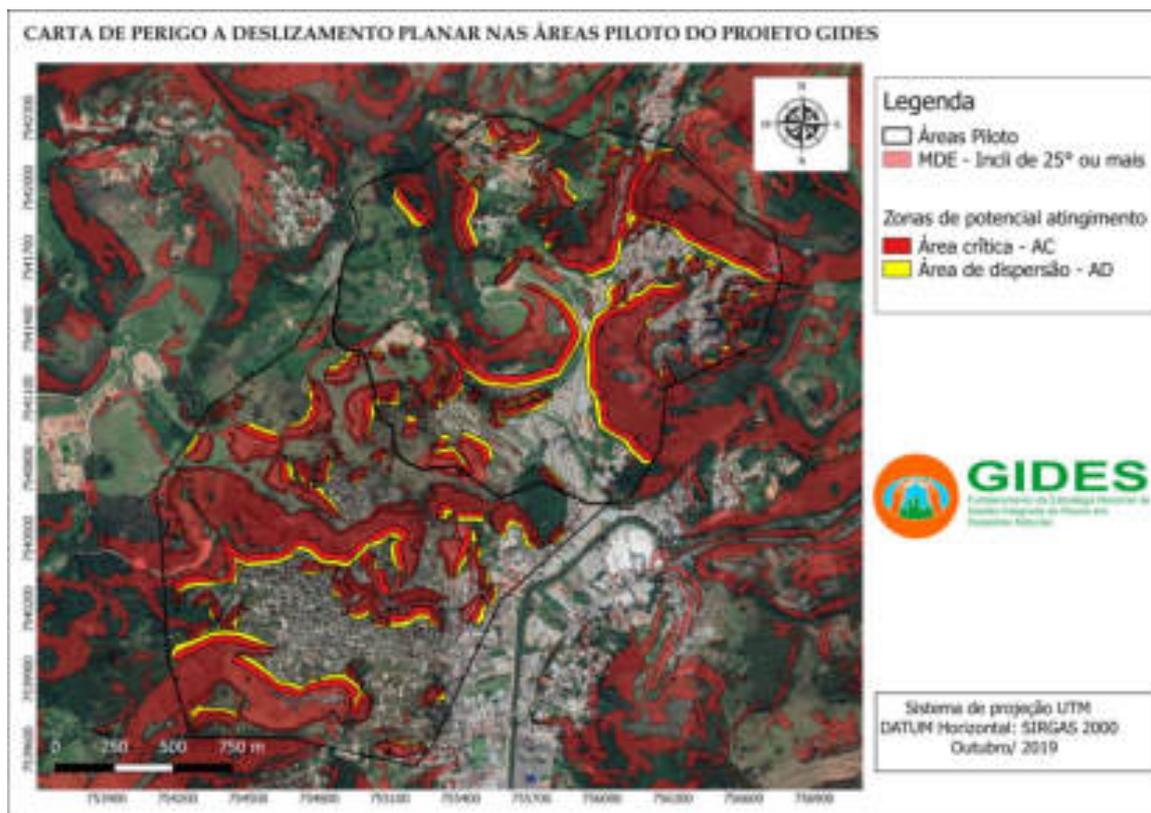


Fonte: PEREGRINI, 2017.

A projeção de áreas de atingimento do método GIDES é feita a partir do MDE utilizando a topografia 1: 5.000 e resulta nas áreas de potencial perigo conforme a carta (fig. 40). Apesar desta base ser satisfatória para deslizamentos planares o mapeamento de fluxo de detritos exige uma topografia de maior resolução tendo uma análise relativamente imprecisa nesta escala. O processo de campo na delimitação das áreas de potencial perigo é mensurado com o hipsômetro a laser para conferir a topografia e em alguns casos são diagnosticadas imprecisões na base topográfica que são corrigidas em um refinamento final em escritório.

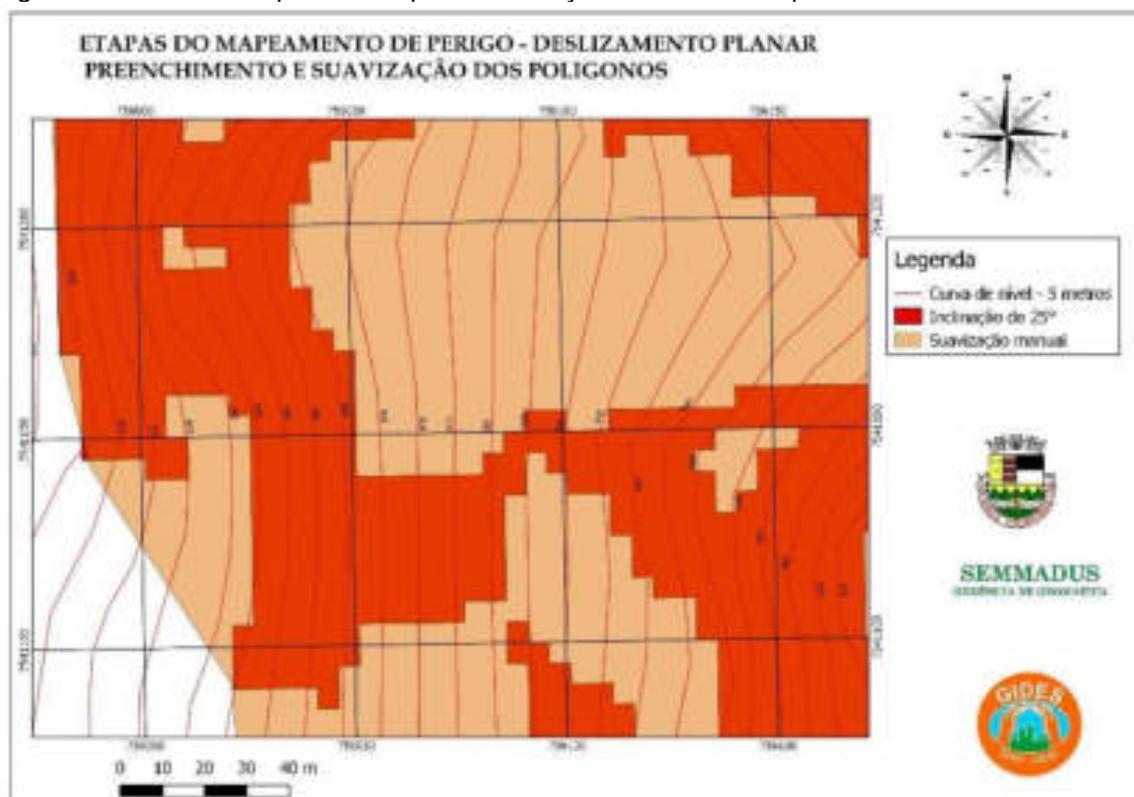
A mensuração de campo é a checagem de maior confiabilidade e remete a análise prática do cálculo da média de inclinação (subtração da cota do topo menos a cota da base dividida pela distância da linha retilínea sub a perpendicular as curvas de nível) que uma vez realizado e obtendo um coeficiente igual ou superior a 0,47 sabe-se que a inclinação média é igual ou superior a 25° o que remete a deflagração dos deslizamentos planares. Estes casos medidos em escritório podem apresentar patamares (porções com menos de 25° de inclinação no MDE) como uma área de potencial ocorrência a processos de rupturas (figura 41) e preferencialmente necessitam da confirmação de campo para constatação da média de inclinação igual ou maior que 25° .

Figura 40 - MDE com Inclinações $\geq 25^\circ$ e áreas de atingimento.



Fonte: O autor, 2019..

Figura 41 - Inclusão de patamares para delimitação de zonas de ruptura.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

3.3.2 Definição dos graus de perigo

Os graus de perigo foram definidos pela equipe GEGEO/ PMNF nas vistorias ocorridas nos anos de 2016 e 2017 na encosta localizada entre as ruas Cinésio Rocha e Professora Zuleika Ramos Valença no Parque Maria Teresa em Conselheiro Paulino. Em suma os graus de perigo representam uma análise de suscetibilidade nos taludes $\geq 25^\circ$ de inclinação. Na etapa de definição dos graus de perigo são coletadas as fotografias de cicatrizes entre outros indícios de campo associados aos processos atuantes no meio físico de propensão ao movimento. Este diagnóstico pode incluir alguns indícios típicos de instabilidade e agregar maior peso ao grau de perigo. Os indícios verificados foram: descalçamento de blocos (figura 42 – A e B), solapamentos (figura 43 – A e B) e surgência de água (figura 44).

Figura 42 - Descalçamento de blocos -Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016

Figura 43 - Solapamento – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 44: Surgência - Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Em janeiro de 2019 como resultado das chuvas outros indícios de movimentações de terreno nesta encosta gerou a demanda de uma supervisão local. Na área sob coordenada UTM 756.205 mE; 7.541.459 mS (zona 23 K) a cicatriz evidenciada em 2017 como um indício marcante (figura 45) de instabilidade do terreno foi somada a outros indicativos marcantes. Este ponto apresenta um bloco arredondado situado na crista da encosta (figura 46) remetendo um potencial impacto as residências da rua Professora Zuleika Ramos Valença como ilustrado em perfil topográfico (figura 47). No dia 13/02/2019 são verificados degraus de abatimento no solo residual (figura 48) do bloco encaixado. Este tipo de indício combinado a alta declividade desta encosta remete iminência de um deslocamento rápido do material envolvido (solo + blocos). Neste local há duas cortinas atirantada (figura 49) porém entre as obras de contenção situa-se o bloco arredondado na iminência de se movimentar. O conjunto de evidencias e indícios constatados em

vistorias técnicas atribui um grau de perigo muito alto para as zonas de atingimento desta vertente e neste caso o nível de risco das casas é muito alto (figura 50).

Figura 45 - Cicatriz de deslizamento – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

Figura 46 - Matação arredondado na crista da encosta – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 47 - Perfil topográfico da encosta.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 48 - Degrau de abatimento – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 49 - Obras de contenção – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

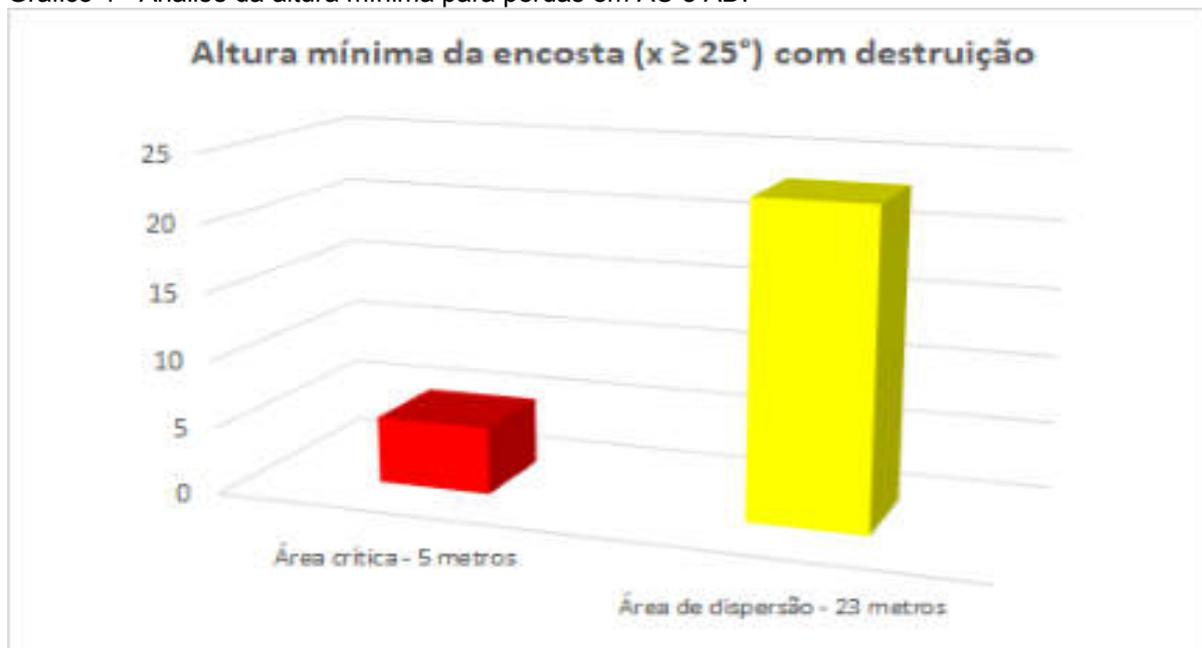
Figura 50 - Grau de perigo e nível de risco muito alto (P4).



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

O grau de perigo médio na encosta pode ser conferido em locais com obras contenção oficiais do Município, Estado ou União desde que vinculados a uma ART do executor da obra. Este grau de perigo pode ser atribuído as encostas sem indícios de instabilidade no terreno (manual GIDES). As perdas de construções civis por deslizamentos planares para encostas com menos de 15 metros de altura correspondem a apenas 2% (GEGEO/ PMNF) o que torna mais fácil de na condição de ausência destes indícios definir tais vertentes de baixa amplitude plano-altimétrica como um grau de perigo médio. Na área de dispersão as perdas ocorrem nas encostas maiores ou iguais 25° de inclinação e 23 metros de altura (gráfico 04) o que demonstra que esta faixa de área mais a jusante da encosta possui uma energia potencial pouco concentrada (dispersa) principalmente em baixos taludes.

Gráfico 4 - Análise da altura mínima para perdas em AC e AD.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

3.3.3 Definição dos níveis de risco

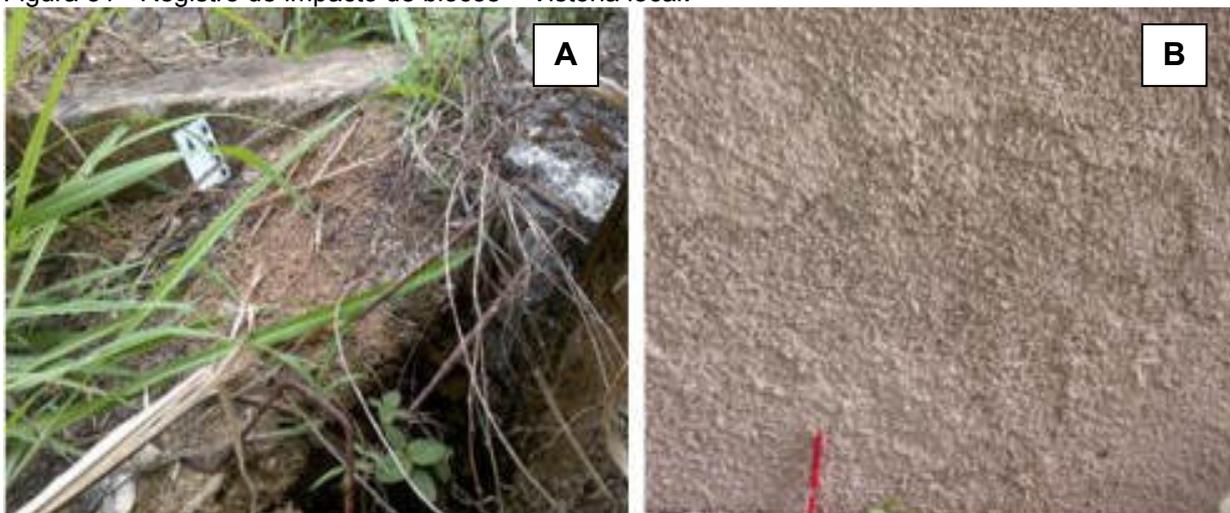
Os níveis de risco estão atrelados a construções civis em áreas de potencial ocorrência de movimentos gravitacionais de massa definidos na carta de perigo. Nesta análise o enfoque são as habitações pois entende-se que a verificação do terreno foi previamente averiguada nas etapas anteriores da metodologia. Na prática como demonstrado nos exemplos contidos neste trabalho os problemas geotécnicos

encontrados em Nova Friburgo em geral estão nas áreas de potencial perigo a deslizamento planar. Logo uma vez definido um grau de perigo muito alto o risco de um determinado domicilio também será muito alto. Porém esta verificação do nível de risco nem sempre pode ser definida de forma conjunta com os graus de perigo visto que em áreas densamente ocupadas não é possível a análise do terreno ficando neste caso somente o diagnóstico das construções atreladas as condições topográficas de perigo.

No estudo de vulnerabilidade de construções executadas no município de Nova Friburgo é feita a verificação em geral de domicílios de alvenaria bem construída sem um laudo de responsabilidade técnica para a resistência da construção frente a um movimento gravitacional de massa. A análise dos danos estruturais nas construções deve ser realizada com algumas precauções pois podem refletir problemas de origem patogênica que por sua vez não se relaciona a um movimento do terreno. Nesta avaliação existe uma tendência das trincas ortogonais ao terreno e paralelas as curvas de nível serem oriundas de uma causa não patogênica, no entanto, remetem um indício mecânico de movimentação do solo. Os registros de movimentos pretéritos evidenciados nas construções civis são diversificados podendo estar associado a uma canaleta destruída (figura 51 - A), marcas de impacto de blocos em muros (figura 51 - B), recalques construtivos (figura 52), trincas na construção (figura 53) ou destruições completas (figura 54).

Nos depósitos de tálus contendo blocos arredondados e esféricos a metodologia de análise de risco a deslizamento planar pode não ser aplicável pois é possível a ocorrência de rolamentos de longa trajetória como verificado no exemplo da corrida de blocos do hospital São Lucas em Duas Pedras, Distrito Sede. Outro fator são os antigos depósitos de tálus que podem não ter inclinações maiores ou iguais a 25° e originar processos de rastejo conforme evidenciado nos danos estruturais nas construções conferidas no exemplo do condomínio Monte Belo no distrito de Mury. Logo, nestes casos são recomendados a utilização de métodos mais conservadores conforme especificado nos procedimentos do manual GIDES para o mapeamento das tipologias de quedas de blocos ou fluxo de detritos.

Figura 51 - Registro de impacto de blocos – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 52 - Recalques na construção – Vistoria local



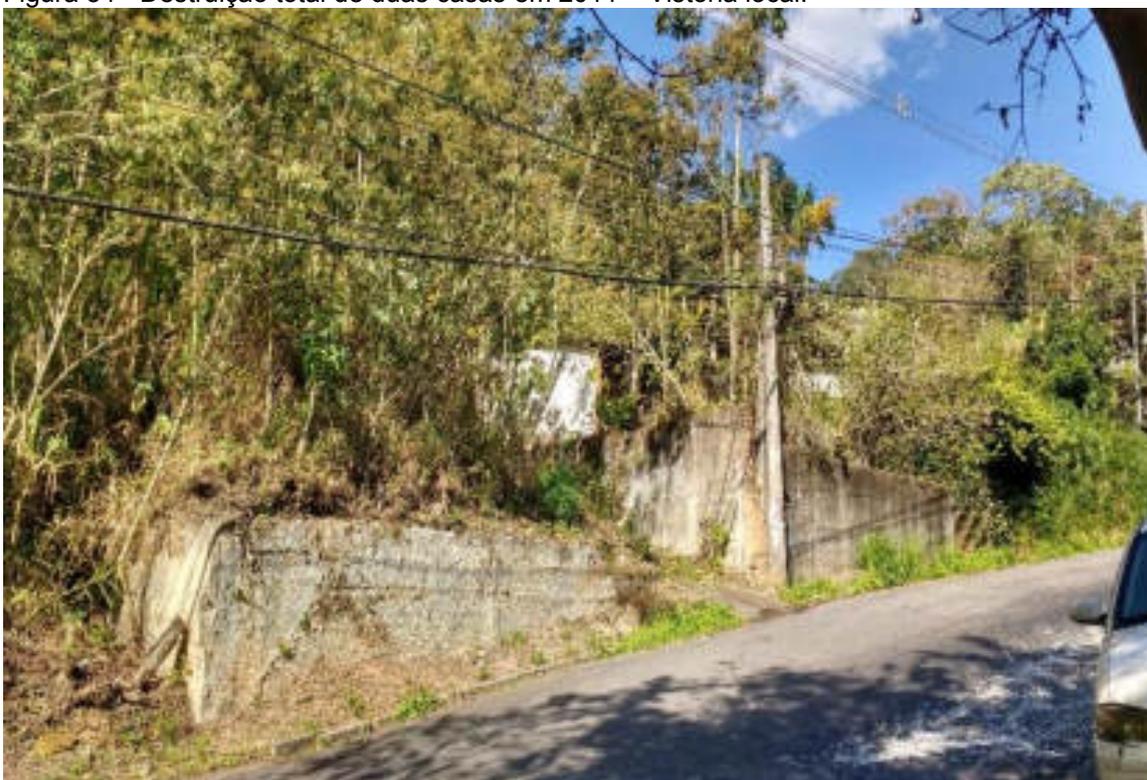
Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 53 - Trincas na construção – Vistoria local.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 54 - Destruição total de duas casas em 2011 – Vistoria local.



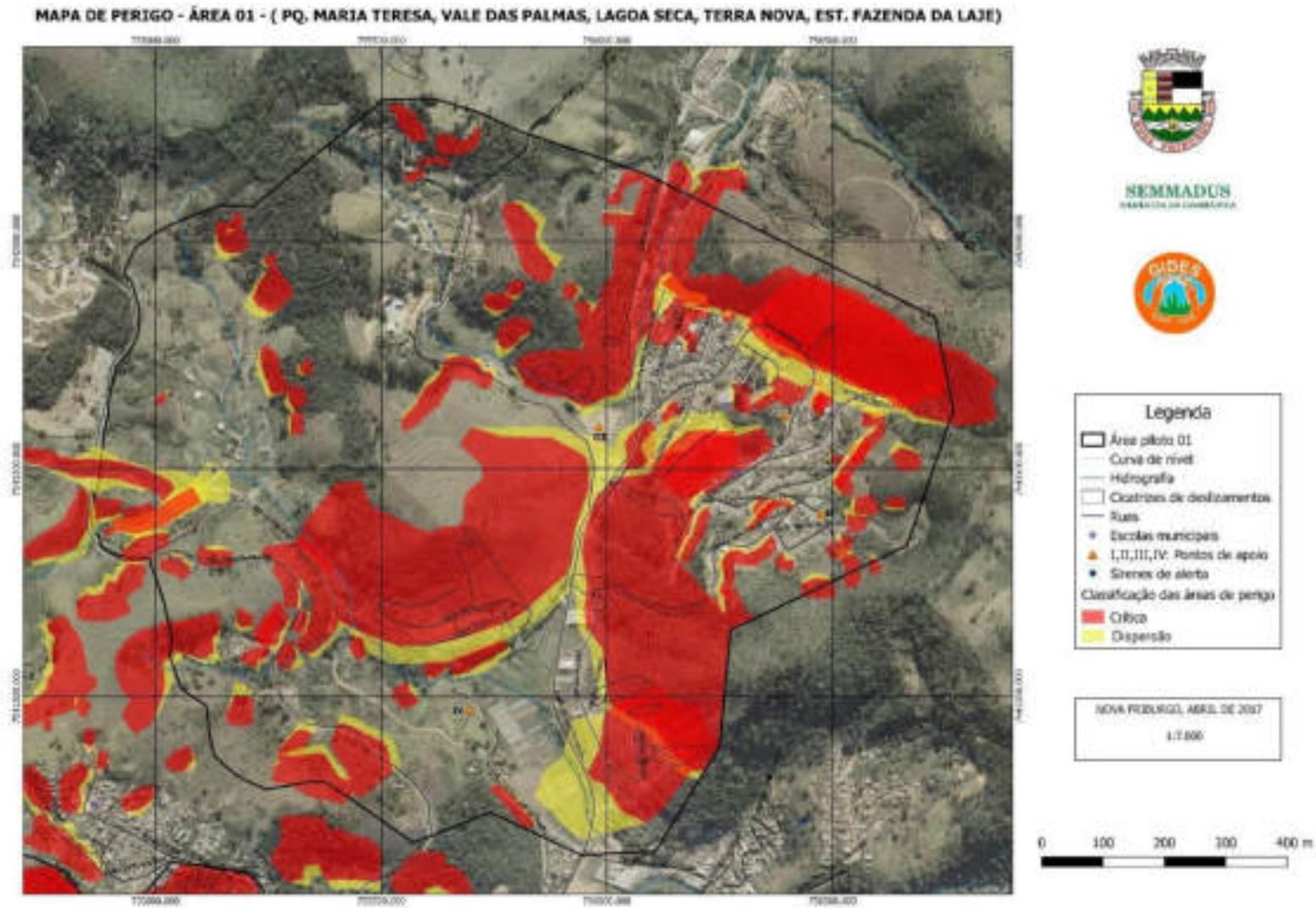
Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

3.3.4 Mapeamentos elaborados pelo Município

As cartas de Perigo/ Risco do município de Nova Friburgo foram acompanhadas por reuniões técnicas com participação da CPRM e JICA. O resultado foram mapas integrados de três tipologias de movimentos gravitacionais de massa com suas áreas de perigo mensuradas (figura 55) a partir de preceitos topográficos conferidos no manual desenvolvido durante o projeto GIDES. Em uma segunda etapa levando em conta os indícios de movimento e intensidades de processos foram definidos os graus de perigo em: baixo (P1), médio (P2), alto (P3) e muito alto (P4) (figura 56). Em uma última etapa foram classificados 4 níveis de risco e o resultado final é uma avaliação detalhada por edificação (figura 57).

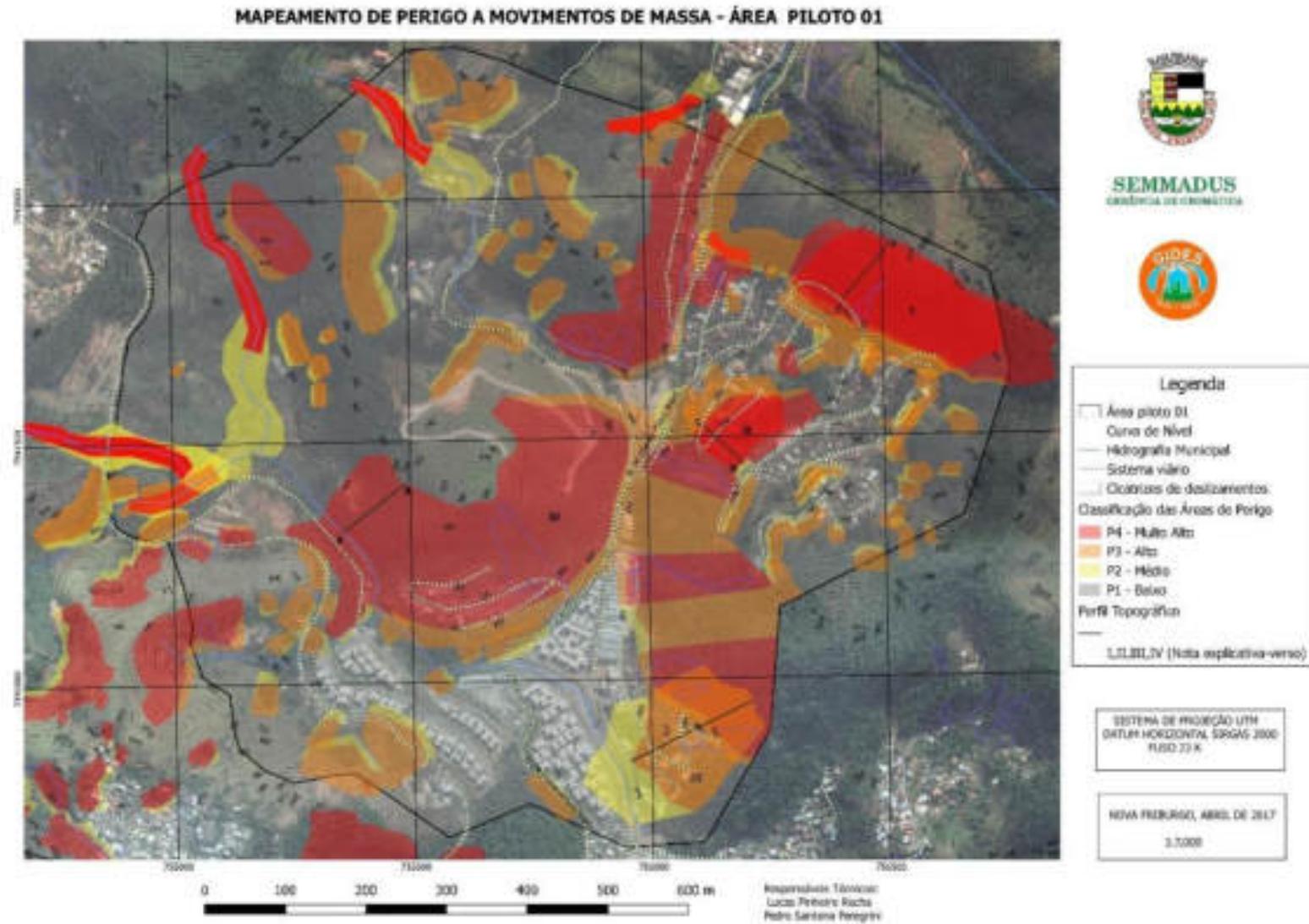
O método de Perigo/ Risco foi confeccionado em escala local e possui um caráter mais específico com parâmetros técnicos para caracterizar e mapear as mais frequentes tipologias brasileiras de movimentos gravitacionais de massa. A assertividade desta metodologia foi executada nas duas áreas de estudo a partir de testes aplicados durante e após o término do projeto GIDES. As condicionantes topográficas apresentaram o resultado esperado maior ou igual a 85% para os testes na qual o método foi submetido. O maior entrave de aplicação deste método consiste na inexistência de uma lei Federal capaz de embasar legalmente a aplicação das cartas de Perigo/ Risco. No caso de Nova Friburgo os técnicos da Gerência de Geomática/ PMNF utilizam o método conforme a diretriz do decreto Municipal Nº 96 de abril de 2018 que faz referência ao reconhecimento de capacidade técnica concedida pela CPRM aos membros deste setor.

Figura 55 - Áreas de potencial perigo a movimentos de massa – Projeto GIDES.



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

Figura 56 - Carta com os graus perigo definidos no projeto GIDES.



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

Figura 57 - Carta de Risco elaborado no projeto GIDES



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

3.4 Comparação e integração entre as cartas

As escalas utilizadas em cada uma das cartas da União, Estado e Município apresentam diferentes escalas cartográficas respectivamente em 1: 25. 000, 1: 10.000 e 1: 5.000 a local e também metodologias com aspectos distintos e algumas lacunas e pontos positivos (tabela 09). A metodologia integrada das cartas de mapeamento geológico-geotécnico (figura 14) foi a sugestão para complementar lacunas e somar conceitos métodos pertinentes a uma aplicação em escala local.

As unidades homogêneas de terreno são uteis para estabelecer limites das unidades geológicas-geotécnicas. Estas podem extrapolar mais de uma unidade geomorfológica. Na área em análise existem indícios de instabilidade de talude que não estão contemplados nas metodologias. De maneira esquemática a relação entre as cartas de mapeamento geológico-geotécnico pode seguir uma ordenação para atingir níveis mais específicos e precisos na escala cartográfica. Como demonstrado neste trabalho os estudos se iniciam com a análise e o diagnóstico da suscetibilidade a deslizamentos em escala cartográfica 1: 25. 000 seguindo para Cartografia Geotécnica em escala 1: 10. 000. A Carta de perigo é a próxima etapa sendo de suma importância ao município de Nova Friburgo visto que as cartas anteriores não consideraram as áreas de atingimento dos escorregamentos.

Os percursos dos materiais mobilizados seguem trajetórias típicas de cada tipologia de movimento gravitacional de massa sendo estes determinados no manual/ GIDES para quatro tipos principais: deslizamento planar, fluxo de detritos, queda de blocos e deslizamento rotacional. Neste caso o manual/ GIDES preconiza uma escala cartográfica mínima de 1: 10. 000. No caso de Nova Friburgo este mapeamento é executado em escala 1: 5. 000. A próxima etapa que consiste no diagnóstico de graus de perigo integrados a vulnerabilidade é sugerida maiores detalhamentos com escala igual ou maior que 1: 2. 500. O mapeamento de construção civis vulneráveis se faz necessário em uma escala de grande detalhamento para visualizar a delimitação das habitações em níveis de risco. Logo, como demonstrado ao longo deste trabalho a integração das cartas de mapeamento geológico-geotécnico confluem resultando na cartografia de risco (figura 58).

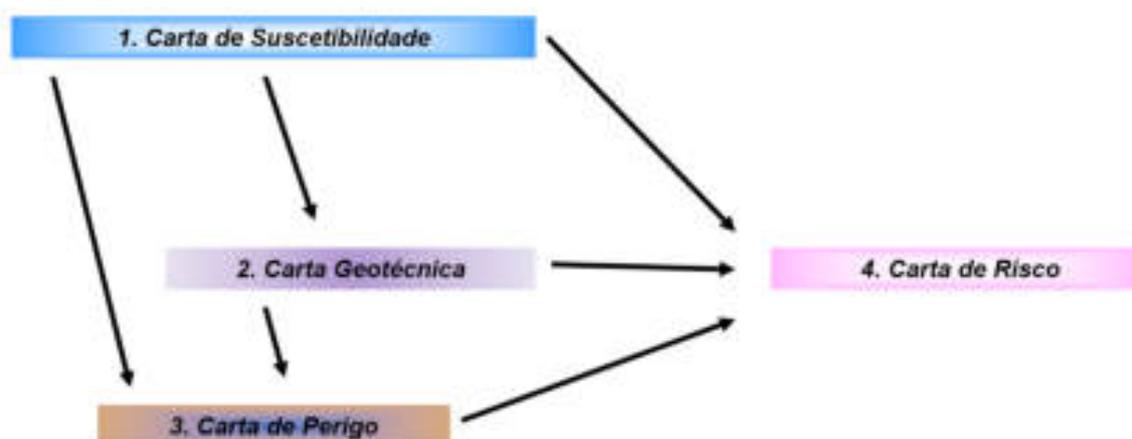
Tabela 9 - Principais discussões referentes ao uso individual das cartas de Suscetibilidade, Geotécnica e Perigo/ Risco.

CARTAS DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO			
Métodos	SUSCETIBILIDADE	GEOTÉCNICA	PERIGO / RISCO
PONTOS POSITIVOS	Aplicável quanto ao uso de Unidades Homogêneas de Terreno - UHTs.	Aplicável quanto a utilização dos solos transportados sendo os mais suscetíveis a rupturas de planares.	Aplicável na detecção de áreas favoráveis a rupturas e atingimentos por critérios topográficos.
PONTOS NEGATIVOS	Ausência de informações litológicas sobre o substrato rochoso uma vez que os mesmos grupos estão em todas as classes.	Ausência de informações sobre áreas atingidas pelos movimentos de massa. Utiliza como base de análise apenas as inclinações maiores ou iguais a 30°.	Ausência de informações sobre tipos de solo e / ou rocha que mais se associam a ocorrências de deslizamentos do tipo planar.

Fonte: O autor, 2019..

Figura 58 - Esquema de integração das cartas e obtenção do risco geológico.

Classificação de risco com dados integrados



Fonte: O autor, 2019..

O método do manual GIDES apresenta-se como mais específicos que a CGU e a suscetibilidade por conter áreas de potencial atingimento. Porém outros critérios tais como o tipo de unidade geológica-geotécnica são levados em consideração na CGU e não são abordados nos outros métodos. Aspectos como densidade de lineamentos e litologia são utilizados no método de suscetibilidade e em contrapartida não são usados nas demais metodologias. A aplicação dos métodos de forma integrada é de grande importância visto que aspectos diferentes são estudados em cada uma das técnicas de mapeamento geológico-geotécnico. O grande desafio atual são os dados de entrada e as pequenas escalas de trabalho disponíveis em geral menores ou iguais a 1: 50. 000 (figura 59). Uma vez que 98% dos deslizamentos têm menos do que 50 metros de largura (gráfico 05) estes dados de baixo detalhamento não são recomendados por conta da escala cartográfica. De acordo com SOBREIRA & SOUZA (2012) a escala mínima para mapeamento geológico-geotécnico é 1: 25: 000.

Figura 59 - Mapa Geológico em escala original 1: 50.000.

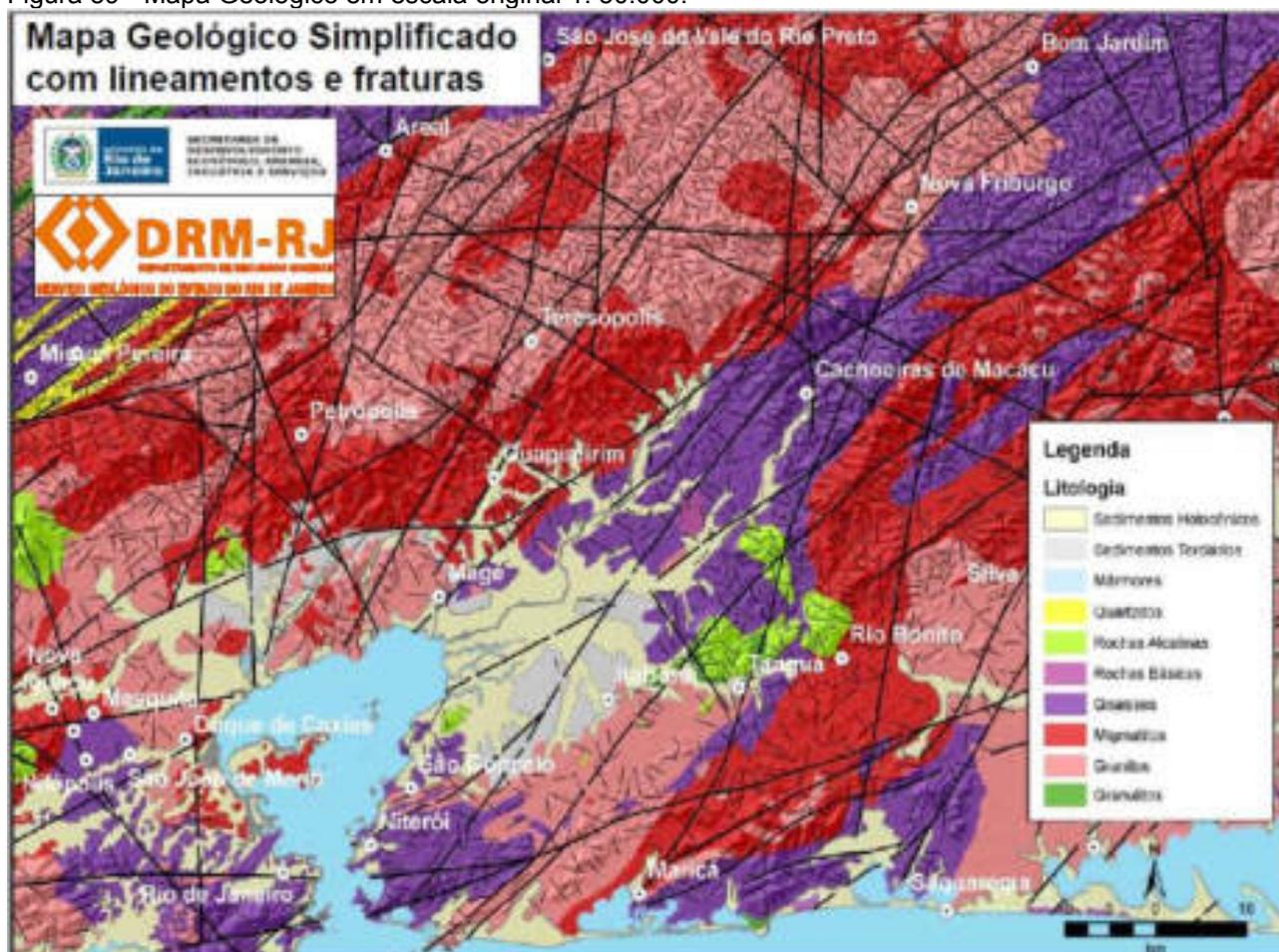
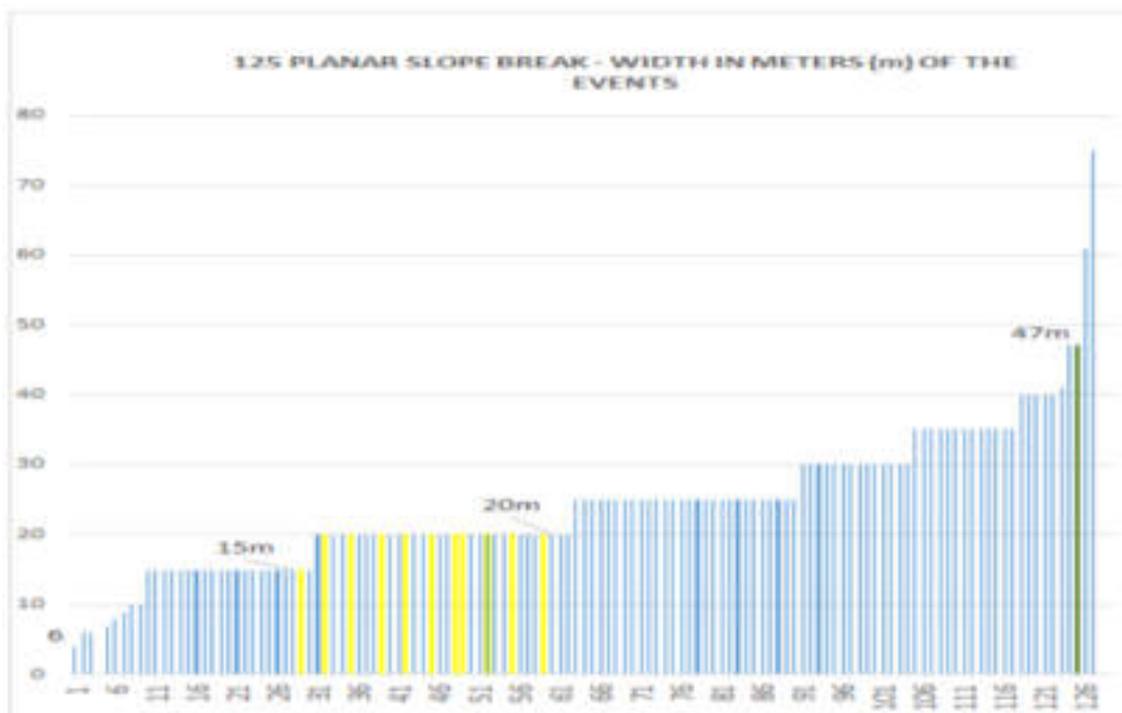


Gráfico 5 - Análise da largura das rupturas associadas ao evento de 2011.



Fonte: ROCHA, 2018.

Os deslizamentos de acordo com TOMINAGA (2011) também podem ser chamados de escorregamentos e segundo AUGUSTO FILHO (1992) esta tipologia de movimento se subdivide em: planar, circular e cunha. O relatório técnico da CGU do NADE/ DRM-RJ (2015) de Nova Friburgo utiliza o termo escorregamento. Já a nota técnica explicativa da Carta de Suscetibilidade de BITAR (2014) e o Manual/ GIDES (2018) utilizam o termo deslizamento. Ambos os termos são nomenclaturas técnicas e denotam a mesma conotação científica. A abordagem deste trabalho foi desenvolvida para os deslizamentos planares pois, bem como demonstrado na área de estudo estes corresponderam a 100% das quantificadas perdas de construções.

A delimitação de áreas de potencial ocorrência de escorregamentos está presente de forma diferente na CGU e na Carta de Perigo. Como especificado no relatório técnico da CGU nesta Carta é utilizado métodos qualitativos. Este método defini níveis de potencial ocorrência a escorregamentos. Na classe muito alto e crítico as unidades de afloramentos rochosos contêm os menores índices associados a deslizamentos. Isso ocorre por conta dos afloramentos rochosos do município de Nova Friburgo apresentarem uma natureza muito declivosa e em parte dos casos um padrão de alteração que resulta em blocos de natureza subarredondada a arredondada com capacidade natural de rolamento. No entanto o

método de delimitação de áreas de potencial perigo é estabelecido de acordo com mensurações quantificadas em metros e pré-definidas por critérios topográficos especificamente para cada tipologia de movimentos gravitacionais de massa. Em uma próxima etapa é efetuada a qualificação destas áreas em graus de perigo. Logo, a metodologia do Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa pode ser definido como de caráter objetivo e quantitativo em uma primeira análise e qualitativa e subjetiva em uma verificação posterior.

A escala cartográfica utilizada pode interferir diretamente no resultado final do mapeamento geológico-geotécnico. O mapeamento de perigo de Nova Friburgo 1: 5.000 vem de 2016 a 2019 gerando resultados de confiança ao setor da GEGEO/PMNF com apenas incongruências pontuais em escala local. Em análise comparativa entre os 25° de inclinação e a classe alta 1: 25.000 é verificado a inclusão de todas as rupturas em ambos os casos (figura 08). Porém, como constatado na área de estudo, existe uma diferença significativa no tamanho de área delimitada na classe alta da carta de Suscetibilidade em relação aos 25° de inclinação. Provavelmente este resultado pode estar vinculado aos dados de entrada de litologia e lineamentos em escala 1: 100.000.

Os fatores de predisposição natural a deslizamentos da carta de Suscetibilidade incluem elementos presentes em cada uma das classes. Já os graus de perigo/ GIDES leva em consideração principalmente processos atuantes de desestabilização da encosta. Entretanto diferindo dos demais métodos a CGU preconiza o uso e a ocupação do solo considerando, no entanto, as intervenções antrópicas. Por considerar apenas as ocorrências naturais o método de suscetibilidade pode ser pouco restritivo nas atividades de ocupação humana que em determinados casos funcionam como um indutor aos movimentos gravitacionais de massa. Os cortes e aterros não foram incorporados a técnica dos graus de perigo logo, caso exista este tipo de intervenção é recomendável uma análise mais criteriosa dos processos de desestabilização principalmente nas porções com maiores modificações antropogênicas.

De acordo com FERNANDES & AMARAL (1996) qualquer esquema proposto apresenta limitações, uma vez que na natureza os escorregamentos tendem a ser mais complexos, dificultando estabelecer limites entre as classes. No Parque Maria Teresa existem encostas que podem se associar a movimentos gravitacionais de massa complexos. A encosta a montante da rua Professora Zuleika Ramos Valença

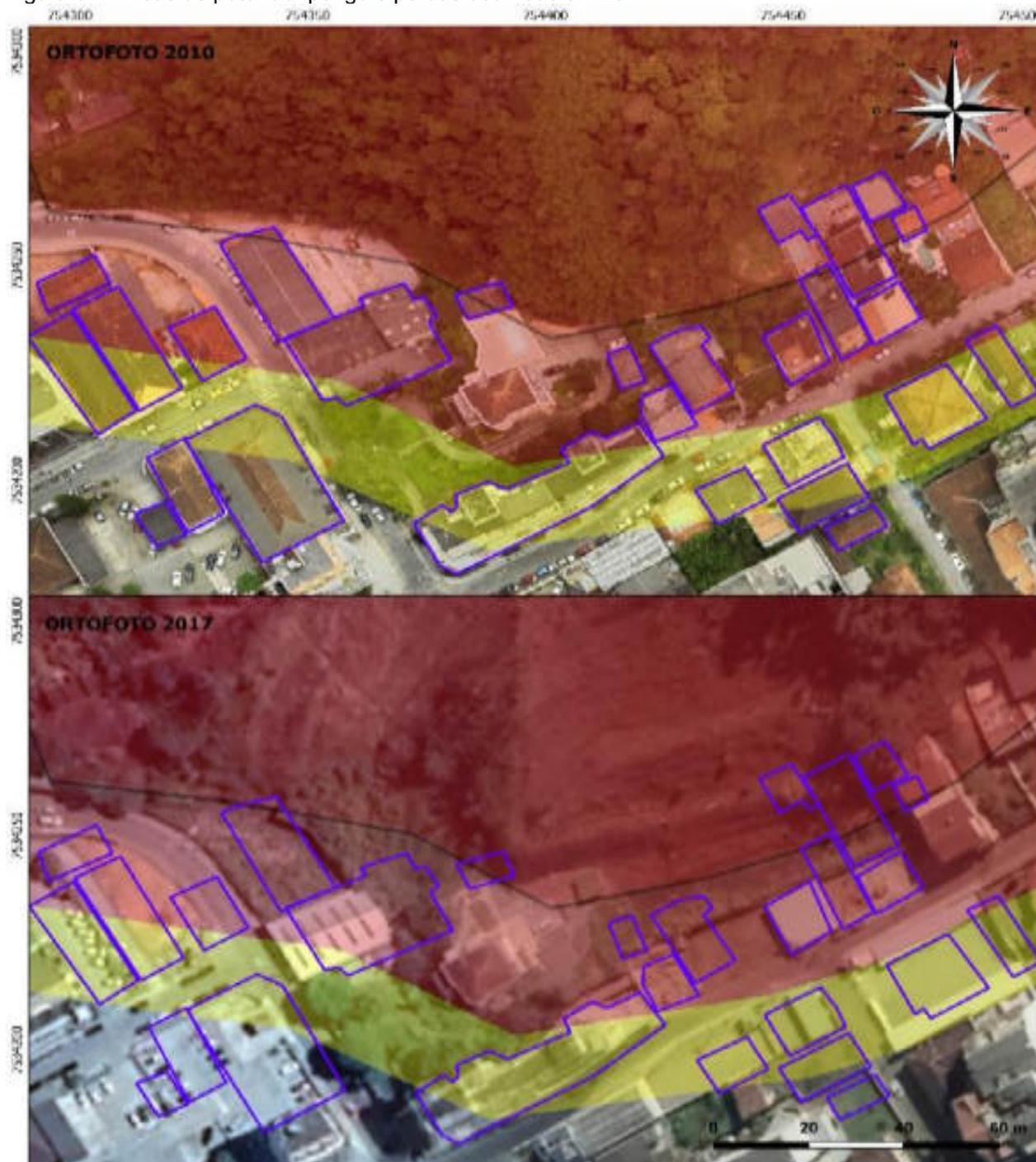
no Parque Maria Teresa em Nova Friburgo é um caso de uma configuração distinta com classes integradas. Esta contém indícios de instabilidade a deslizamento planar tais como cicatriz e degraus de abatimento e também indicativos de queda de blocos no terço inferior, médio e superior da encosta com processos de descalçamento que podem resultar em desprendimentos individuais de matacões. Os movimentos complexos a deslizamento planar atrelados a evidências de movimentos secundários de queda de blocos não foi definida no Manual de Mapeamento de Perigo e Risco - GIDES. Logo, entende-se que apesar desta metodologia ser altamente assertiva existem casos que carecem de melhores detalhamentos.

A técnica de deslizamento planar pode ser melhorada a medida que os valores de acertos se aproximam 100% e casos complexos vão sendo decifrados. Logo, são necessários estudos específicos a fim de diagnosticar se os casos que não seguiram o método apresentam um ou mais fator (es) do meio físico que justifique o desvio padrão encontrado. No deslizamento da rua Cristina Ziede e Augusto Spinelli no Centro da cidade de Nova Friburgo ocorreram duas rupturas e ambas tiveram destruições além da área de potencial perigo. Nestes movimentos de massa foram do tipo planar o que não justifica os maiores atingimentos constatados. Porém, as vistorias de campo do CPRM de riscos remanescentes a 2011 descreveram a espessura de solo nesta encosta em cerca de 10 metros. Este fator mencionado é o suficiente para justificar o resultado “relativamente” anômalo ao mapeamento de perigo com uma proporção de 25 construções civis destruídas na área definida como de potencial ocorrência e duas destoando o padrão completamente fora da área perigo a deslizamento planar (figura 60).

A análise de perigo, unidades geológicas-geotécnicas e predisposição de movimentação do terreno é efetuada pela Gerência de Geomática/ PMNF a partir de vistorias de campo por demandas da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo. Nestas análises em escala local é observado que os materiais alóctones apresentam grande influência no que diz respeito a processos de suscetibilidade. Em vistoria técnica na rua Alberto Rangel, número 25, área B-2, Vila Nova, Nova Friburgo no dia 17/11/2016 é verificado na coordenada UTM 753942/ 7535574 (zona 23K) trincas no terreno e processos de solapamento (figura 61 - A) associados a área de perigo crítico no topo de uma encosta ($X \geq 25^\circ$) constituída por depósito de aterro (colúvio de natureza antrópica). A instabilidade do terreno em depósitos transportados é conferida também na coordenada UTM: X= 754500 e Y= 7533449 (zona 23K) no

bairro Cordoeira na qual são constatadas trincas em colúvio e encosta com mais de 25° de inclinação (figura 61 – B e C). Levando em consideração que a grande maioria do território municipal é constituído de solo in situ (84%) de forma proporcional as vistorias frequentemente ocorrem em áreas constituídas por estes solos residuais que em geral mesmo em condições topográficas de deflagração ($X \geq 25^\circ$) não apresenta indícios de instabilidade.

Figura 61 - Áreas de potencial perigo e perdas ocorridas em 2011.



Fonte: ROCHA , 2018.

Figura 61 - Trincas em solos transportados – Vistorias locais.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016 e 2018.

Na CGU a profundidade de 2 metros separa os solos residuais rasos dos profundos em duas unidades geológico-geotécnicas distintas. No entanto não existe uma profundidade limite para subdividir materiais transportados tais como tálus, colúvio e aterros. As encostas com inclinações maiores ou igual a 25° contendo solos alóctones são mais suscetíveis a trincas no terreno. Logo, existe a necessidade de inferir um maior grau de perigo para estes casos de solos transportados de natureza mais instável. De acordo com o Relatório Técnico da Cartografia Geotécnica de Aptidão Urbana, 1:10.000 de Nova Friburgo aproximadamente 80% do território do município de Nova Friburgo é constituída de solo raso sobre rocha com uma espessura de no máximo 2 metros de solo residual disposto diretamente sobre a rocha sub- aflorante. Os escorregamentos

translacionais também conhecido como deslizamentos planares representam a forma mais frequente entre todos os movimentos de massa e possuem superfície de ruptura plana com capa de solo rasa entre 0,5 e 5 metros - FERNANDES & AMARAL (1996). Esta configuração de solos delgados em relevo acidentado é comum na cidade de Nova Friburgo, o que torna favorável a ocorrência de deslizamentos planares. A partir destas definições entende-se como importante considerar capas de solos alóctones a partir de espessuras superiores a 0,5 metros em encostas com inclinações maiores ou iguais a 25° conferindo nestes casos um grau de perigo muito alto. O conjunto de caracterizações em vistorias locais deixam evidentes que os processos de instabilidade dos solos transportados estão atrelados diretamente a Cartografia de Perigo conferida no manual GIDES.

As vistorias de campo da Gerência de Geomática confirmaram deslizamentos planares com ocorrência de fugas “relativas” de padrão para zonas atingimento. Como constatado estes casos tiveram uma pequena parcela de sua influência fora das áreas de potencial perigo. As referidas ocorrências apresentam um conjunto de características comuns tais como: geomorfologia representada por morros circulares (figura 62 – A e C), alteração de rochas magmáticas (figura 62 – B e D). Em uma análise aplicando os conceitos das unidades geológicas-geotécnicas da CGU estes casos estariam classificados como solos residuais profundos. Estes solos profundos podem resultar em maiores atingimentos em deslizamentos planares e em topografias mais suaves resultar em outras tipologias de movimentos gravitacionais de massa. O presente trabalho tem por finalidade caracterizar as abordagens das cartas de Suscetibilidade, Geotécnicas e de Perigo para deslizamentos planares ou seja, em velocidades altas (m/s). De acordo com AUGUSTO FILHO (1992) estes movimentos não se associam a canais de drenagens logo, uma vez que ocorra vinculado a tal podem compor movimentos de massa do tipo fluxo de detritos ou até mesmo movimentos complexos.

A compartimentação das unidades geológicas-geotécnicas da CGU de Nova Friburgo foi definida por características mais comuns referente a gênese do material de origem, porém informações mais específicas não foram levadas em consideração tais como no Conjunto Habitacional Lagoa Seca (figura 30 - D) que pode conter contatos abruptos em solo residual (figura 30 – B) bem como presença de corpos rochosos tabulares inclusos nestes solos por pegmatitos resistentes ao intemperismo (figura 30 – C). Neste caso, o corte de talude pode originar o

aparecimento de água e conseqüente risco muito alto em empreendimentos alocados nestas áreas (figura 63). Logo, estas informações específicas, podem gerar resultados de maiores instabilidades geológicas-geotécnicas em taludes artificiais. De acordo com a CGU de Nova Friburgo os cortes de taludes executados para implementação de moradias podem resultar em classes de potencial ocorrência de escorregamentos futuros com necessidade de obras de contenção de mitigação do risco instalado. Em Nova Friburgo em geral são cortes de taludes com inclinações maiores do que a existente na configuração natural do terreno (figura 29). Portanto, é comum inclinações médias acentuadas em taludes artificiais o que gera locais inapropriados a ocupação também de acordo com a carta de perigo.

Figura 62 - Rupturas em solos profundos e morros circulares de alteração de rochas ígneas – Vistoria local e modelagem 3D.



Fonte: Gerência de Geomática, 2019.

Figura 63 - Ruptura em solo residual e instabilidade geotécnica por surgência.



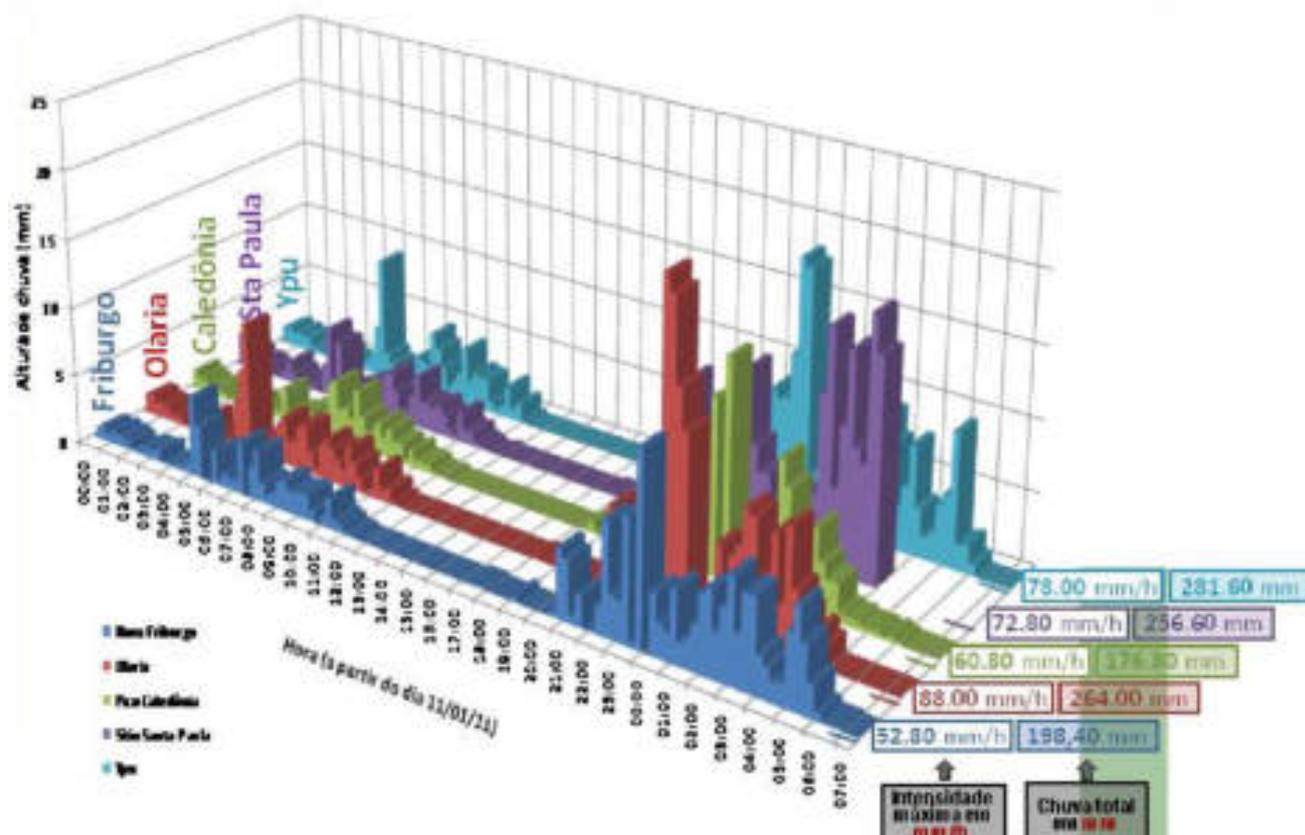
Fonte: Gerência de Geomática, 2018.

As informações geológicas-geotécnicas específicas podem ser melhores diagnosticadas em campo nas áreas desocupadas e com taludes de corte e arruamentos (figura 29). Estas análises de maiores detalhes também podem ser diagnosticadas por sondagens e/ou geofísica local. Conforme Correa & Rocha (2015) métodos Geoelétricos combinados de condutividade por investigação eletromagnética e de eletrorresistividade são aplicáveis na análise de condutos hídricos subterrâneos. Os métodos Geoelétricos provavelmente podem localizar zonas de rupturas a partir de superfícies internas de percolação da água subterrânea em investigações de caráter não invasivo ao meio bem como conferidas por tais métodos geofísicos.

De acordo com o Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos – NADE/ DRM-RJ (2011) três fatores são preponderados para ocorrência de escorregamentos sendo estes: predisponentes, efetivos e de deflagração. Os fatores predisponentes são a geologia, a geomorfologia, a hidrologia de superfície, a hidrogeologia e o clima. Os fatores efetivos estão relacionados ao uso e ocupação

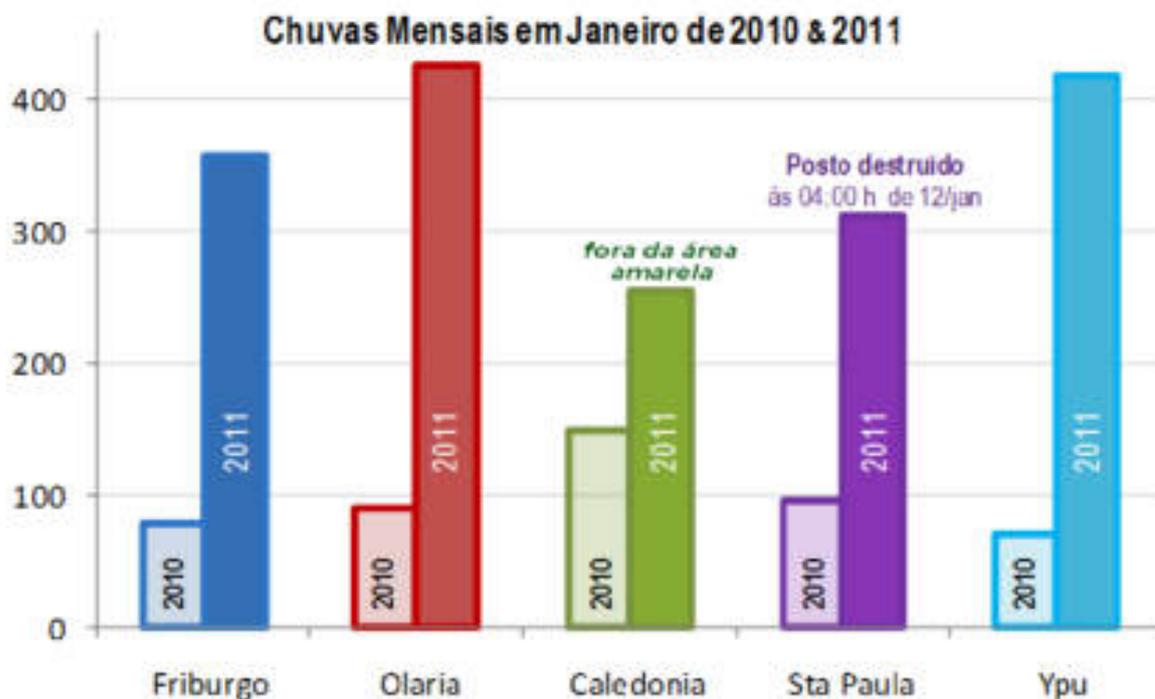
do solo (cortes e aterros), as chuvas antecedentes, e as erosões fluviais e pluviais. Já o fator de deflagração são indices pluviométricos de grande intensidade em 15 minutos e horárias também denominadas chuvas torrenciais. De acordo com CANEDO (2011) a estação Olaria em Nova Friburgo registrou no evento geoclimático de 2011 uma sobrecarga pluvial com intensidade de 88 mm/h (gráfico 06) e mais de 400 mm no mês de janeiro (gráfico 07) deflagrando segundo GEGEO/PMNF 2011 em milhares de áreas de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa em território municipal. As mudanças climáticas são apontadas pela sociedade científica internacional e geram um cenário preocupante a Nova Friburgo e aos municípios brasileiros contendo fatores predisponente.

Gráfico 6 - Dados de intensidade pluviométrica em 2011.



Fonte: CANEDO (2011).

Gráfico 7 - Dados de pluviometria mensal acumulada em janeiro de 2011 comparados com dados de 2010.



Fonte: CANEDO (2011).

As unidades homogêneas do terreno (UHT) representam terrenos de uma encosta, com limites no talvegue, no divisor de águas e nas mudanças de orientação da vertente - BITAR (2014). Os dados das UHTs são essenciais ao mapeamento geológico-geotécnico vide o ocorrido nas ruas Cristina Ziede e Augusto Spinelli no Centro da cidade de Nova Friburgo em que a orientação da encosta separou duas ocorrências a partir de uma linha convexa que definiu o resultado de dois deslizamentos planares com duas áreas distintas de atingimento (figura 64). A projeção das áreas de potencial atingimento na Carta de Perigo a deslizamento planar também segue o mesmo preceito utilizando as inflexões das curvas de nível.

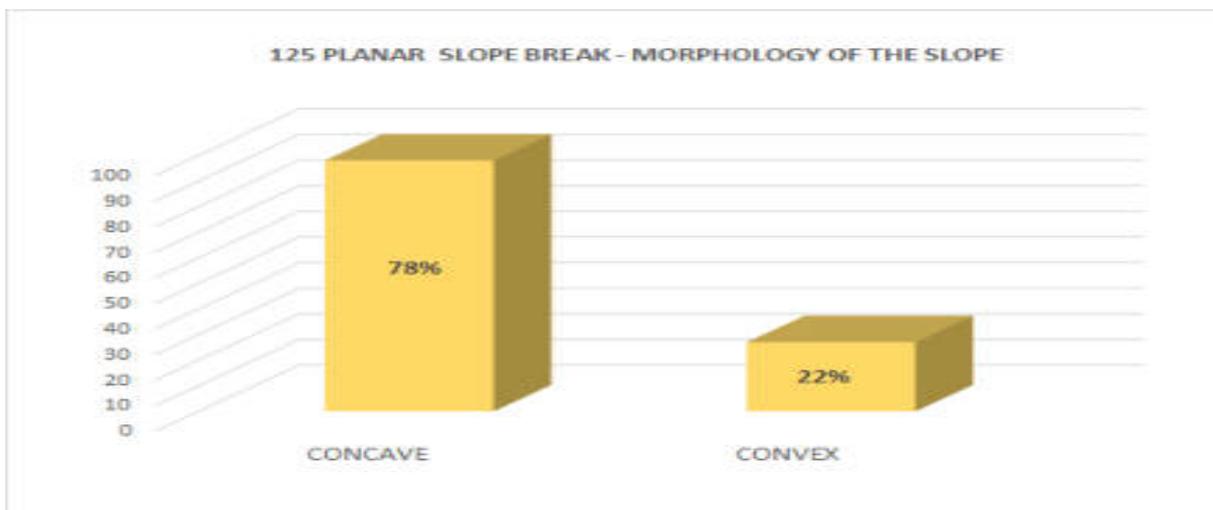
Figura 64 - Deslizamentos planares em solo residual profundo.



Fonte: NADE/ DRM-RJ (2011).

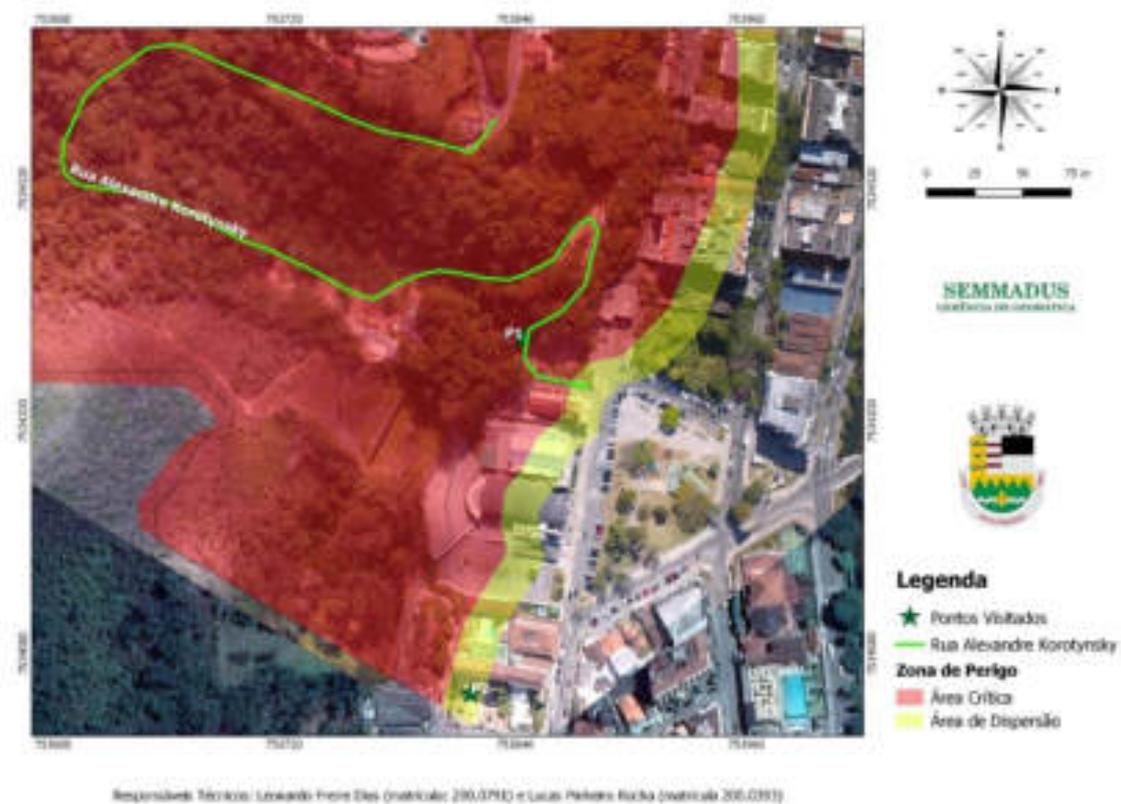
O relevo côncavo como demonstrado do gráfico (gráfico 08) compõe 78% dos casos remetendo uma maior pré-disposição a deslizamentos planares. Neste relevo isso ocorre porque esta feição facilita a concentração de águas superficiais e subterrâneas que por sua vez promovem o movimento. Já o relevo convexo funciona como um divisor de águas dispersando desta forma o escoamento superficial e subterrâneo o que resulta em menores chances de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Logo, esta informação se faz relevante nos mapeamentos geológicos-geotécnicos. Na área de potencial perigo a deslizamento planar da rua Alexandre Korotynsky (figura 65) a categoria de grau de perigo é definida como muito alto pelos seguintes fatores: 1° inclinação média acima de 25°, 2° relevo côncavo, 3° drenagem perene. Os terrenos com instabilidade presente são classificados no grau de perigo alto, porém neste caso da rua Alexandre Korotynsky próximo à praça do Suspiro no Centro da cidade a opção por uma classificação maior foi devido a soma do fator curvatura da encosta ao histórico de um movimento complexo ocorrido em 2011 (figura 66).

Gráfico 8 - Análise da curvatura do terreno nas rupturas de 2011.



Fonte: ROCHA (2018).

Figura 65 - Vistoria de campo em terreno côncavo.



Fonte: Gerência de Geomática, 2018.

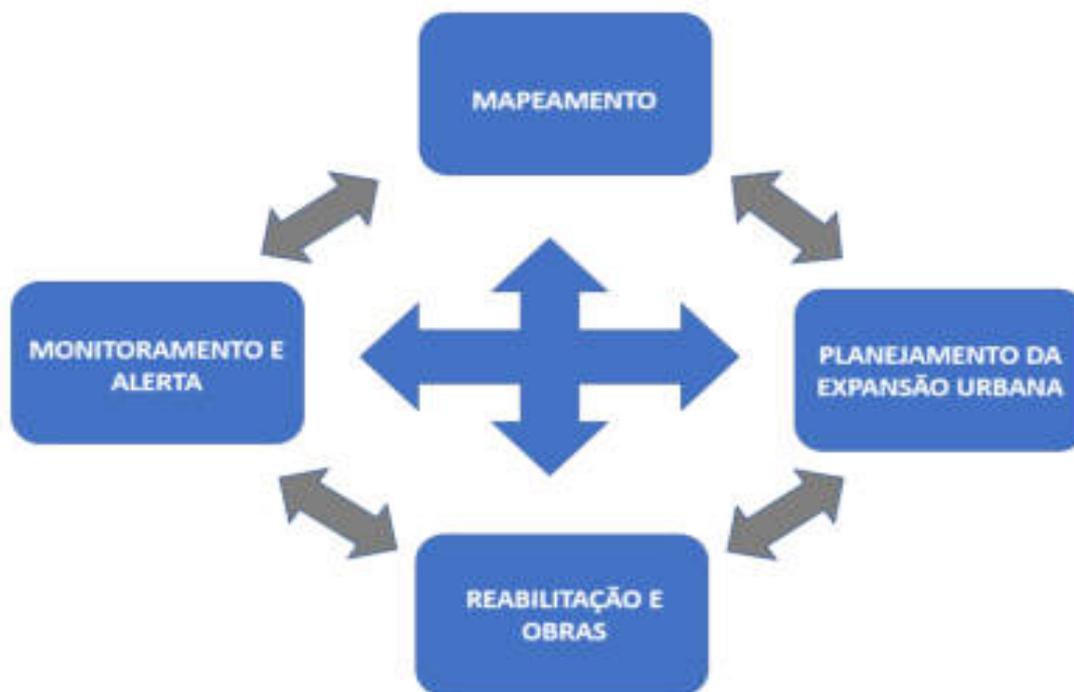
Figura 66 - Movimento gravitacional de massa do tipo complexo (Praça do Suspiro, Centro).



Fonte: NADE/ DRM-RJ (2011).

As áreas de potencial perigo possibilitam o planejamento da expansão urbana e o monitoramento e a alerta com a criação de um plano de contingencia para períodos chuvosos possibilitando a determinação de rotas de fuga e pontos seguros de apoio a população. A reabilitação por meio de obras de contenção bem como a interdição e a demolição de construções em áreas de risco requer análises integradas entre a Cartografia Geotécnica e a Carta de Risco conferida no Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa do projeto GIDES. Segue o esquema de gestão de risco (figura 67).

Figura 67 - Articulação do mapeamento com outros eixos de prevenção.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

A carta de Perigo atrelada a CGU resulta no entendimento de que é viável a utilização de 0,5 metros de espessura de solo alóctone em encosta ($X \geq 25^\circ$) para definir graus de perigo muito alto – P4. Neste caso seria utilizado conforme o método de suscetibilidade um elemento de predisposição ao movimento gravitacional de massa diferindo da proposta classificatória do grau de perigo que consiste em processos associados a indícios de instabilidade do terreno e intensidades presentes ou marcantes.

A definição dos graus de perigo representa um tipo de análise de suscetibilidade do terreno a partir de indícios presentes ausentes ou marcantes de predisposição a movimentos gravitacional de massa na área de ocorrência de rupturas. Concepções como declividade, unidades homogêneas de terreno, amplitude, processos geológicos e tipologia de movimentos gravitacionais de massa são aplicadas nas técnicas de mapeamento de suscetibilidade e de definição dos graus de perigo/ GIDES. Outros dados referentes a litologia, densidade de lineamentos e solos carecem no caso do município de Nova Friburgo de uma base de dados em escalas adequadas iguais ou superiores a 1: 25.000. As atuais cartas de Suscetibilidade da CPRM utilizam o relevo como base para o procedimento de modelagens e definição das classes alta, média e baixa. Logo, é necessário nesta

etapa uma escala cartográfica entre 1: 10.000 e 1: 25.000 uma vez que colinas, rampas, morros entre outras classes de relevo não seriam visualizados em escalas mais detalhadas.

A forma da encosta e as erosões não foram consideradas para determinar os graus de perigo, contudo tais fatores são importantes de serem considerados. A curvatura da encosta por exemplo remete maiores chances de ocorrência em uma forma de vertente côncava e a PMNF tem uma base topográfica adequada em áreas urbanas para efetuar este tipo de análise em escala 1: 5.000. A erosão por sua vez tem grande influência nas ocorrências de movimentos de massa visto os exemplos dos blocos descalçados por fatores erosivos que foram considerados no Parque Maria Teresa um perigo muito alto a queda de blocos.

A Prefeitura Municipal de Nova Friburgo vem se engajando na causa de prevenção de riscos executando mapeamento preventivo por meio da Gerência de Geomática além de continuas obras de contenção verificadas de forma mais pontual no bairro Cordoeira em 2018 e mais abrangente no bairro Village. Porém uma vez que 50% do território de municipal tem inclinação igual ou superior a 25° uma nova chuva torrencial da mesma magnitude de 2011 pode resultar em muitos óbitos uma vez que os processos preventivos de mapeamento foram iniciados em 2016 e antes disso não existiam técnicos com expertise para orientar a ocupação.

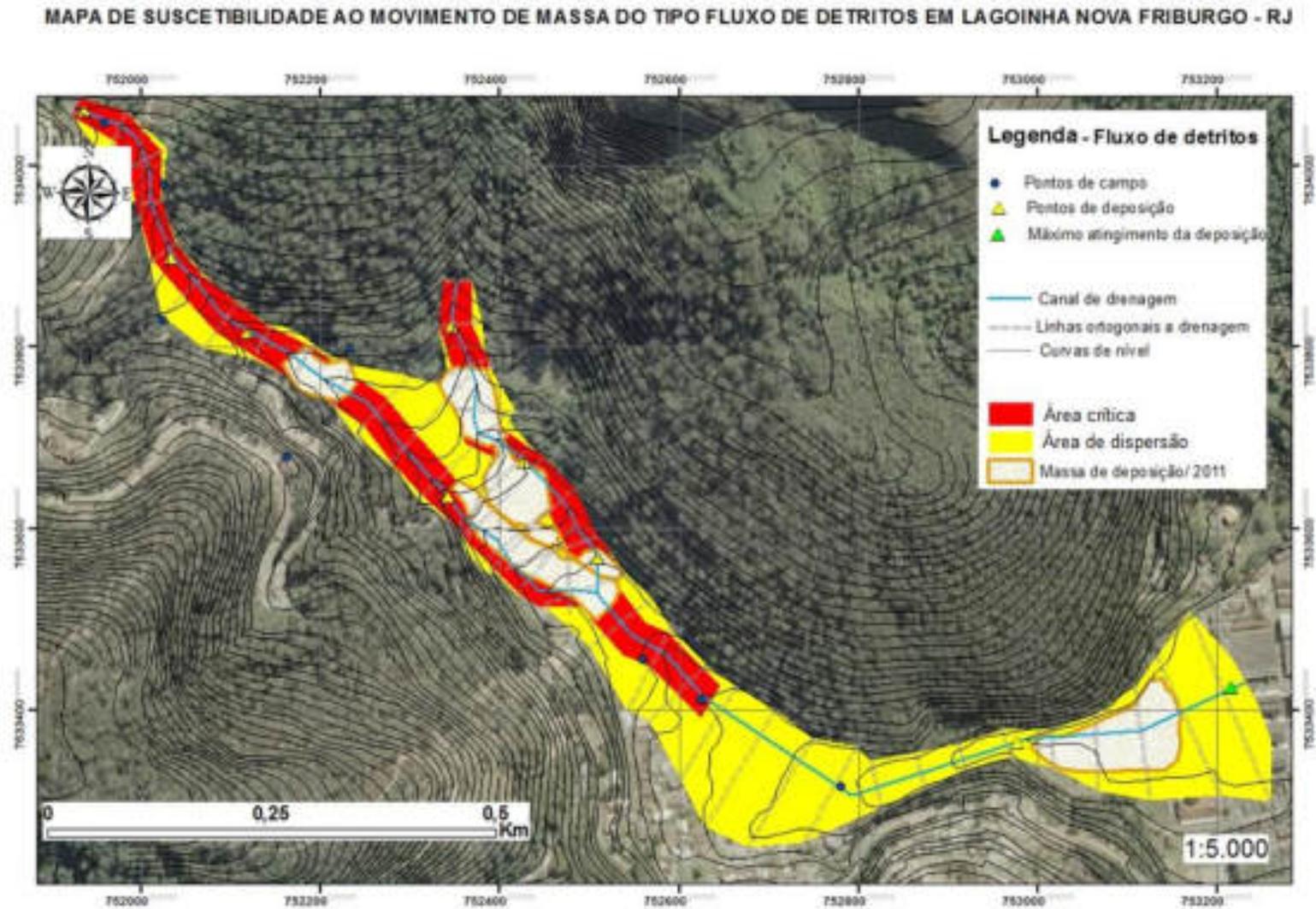
O desenvolvimento deste trabalho demonstra que a técnica de mapeamento de Perigo a deslizamento planar do manual GIDES define de forma eficaz as áreas de destruição de edificações frente a um evento de ocorrências de deslizamentos de grande magnitude tal como ocorrido na região serrana Fluminense em 2011 com milhares de áreas atingidas e milhares de desalojados. O método de mapeamento de Suscetibilidade e Geotécnico podem resultar em melhores ISDs para estas áreas definidas como Perigo. Porém avanços significativos, investimentos financeiros e esforços dos técnicos dos entes das esferas do Município, Estado e União precisam ser melhores trabalhados para que os cruzamentos de dados geológicos-geotécnicos possam ser efetuados em escalas cartográficas adequadas.

O enfoque deste estudo foram os deslizamentos planares pois conforme ROCHA (2018) 74% das perdas de construções civis ocorridas em Nova Friburgo em janeiro de 2011 estão atrelados a esta tipologia e as demais perdas foram por fluxos de detritos. Porém, a pesar de ser menos frequente os movimentos gravitacionais de massa do tipo fluxo de detritos também devem ser estudados e

mapeados. Durante o projeto GIDES técnicos brasileiros da CPRM, NADE/ DRM-RJ e GEGEO/ PMNF e técnicos japoneses da JICA fizeram o diagnóstico de escritório e de campo no bairro Lagoinha no distrito Sede que resultou em um mapeamento mais detalhado nesta região (figura 68).

Os fluxos de detritos por terem um deslocamento mais complexo do que os deslizamentos planares necessitam de escalas mais detalhadas. Uma característica típica das corridas de massa são limites laterais ondulados e saturação do material conferindo a seleção dos sedimentos com redução do tamanho de granulometria de montante para jusante (figura 69). Os fluxos de detritos segundo a metodologia do manual GIDES são limitados a uma inclinação média de 2° de inclinação em um percurso de 200 metros horizontais. Contudo, para a detecção de uma variação de altitude de apenas 7 metros em um terreno horizontalizado de 200m as medidas de campo com hipsômetro a laser não são recomendadas sendo assim, necessárias escalas preferencialmente 1: 2.500 ou maior. A escala topográfica disponível no município de Nova Friburgo é de 1: 5.000. Logo, esta tipologia de movimento gravitacional de massa não pode ser mapeada de forma precisa sendo, no entanto, duvidoso o diagnóstico do limite final da área de espreadimento.

Figura 68 - Mapeamento de fluxo de detritos no bairro Lagoinha, distrito Sede.



Fonte: Gerência de Geomática, 2016.

Figura 69 - Redução granulométrica de montante a jusante no bairro Lagoinha, distrito Sede.



Fonte: Google Earth Pro, 2011.

A verificação prática das áreas de perigo demonstram que deslizamentos planares em uma parcela significativa dos casos se associam a queda de blocos como verificado em duas encostas situadas no Parque Maria Teresa em Conselheiro Paulino e também se observa que os deslizamentos planares que ocorrem em inclinações superiores a 50° de inclinação podem em uma segunda ocorrência resultar em quedas de blocos tal como verificado no bairro Três Irmãos em Conselheiro Paulino. No entanto os deslizamentos rotacionais precisam ser mais estudados no município de Nova Friburgo. Tais movimentos segundo o manual GIDES apresentam uma superfície de ruptura circular. Estes, ocorre de forma lenta resultando em danos nas construções sendo, no entanto, menos perigoso do que os deslizamentos planares e fluxos de detritos que comumente estão atrelados a perdas totais de construções civis. Diferindo dos movimentos planares os movimento gravitacional de massa do tipo deslizamento rotacional somente é detectado uma vez que a ruptura já está instalada sendo peculiar a presença de degraus de

abatimento ao topo. A foto (figura 70) marca uma sequência de cinco degraus registrando movimentações lentas no terreno que por sua vez podem estar associados a eventos distintos.

Figura 70 - Deslizamento rotacional ocorrido no bairro Ypú, distrito Sede – Vistoria local com sobrevoo de Drone modelo Phantom4.



Fonte: Gerência de Geomática, 2017.

A etapa de escritório antecedente a vistoria de campo é de grande importância para a confecção dos mapas de perigo. Os padrões das curvas de nível retrataram os tipos do movimento gravitacional de massa que porventura podem ser previamente diagnosticados antes da etapa de campo. Os deslizamentos planares apresentam uma configuração topográfica mais simples com a tendência de curvas de nível mais retilíneas (figura 71). Os fluxos de detritos são marcados por talvegues (linhas de rebaixamento das vertentes ortogonais as curvas de nível) que em geral apresentam um confinamento do material a montante. Já os movimentos complexos não apresentam padrão de confinamento e podem ter maiores atingimentos do que os deslizamentos planares como verificado no exemplo demonstrado da praça do Suspiro no centro de Nova Friburgo. São necessários avanços e estudos no mapeamento geológico-geotécnica a partir da caracterização dos padrões

associados aos movimentos complexos associados a drenagens como também relacionados a inclinações superiores a 50° com capa de solo como demonstrado na rua Luís Carestiato no Parque Maria Teresa.

Figura 71 - Padrões de curvas de nível utilizado para definição preliminar das ocorrências de fluxos de detritos, movimentos complexos e deslizamentos planares.



Fonte: O autor, 2019..

A base topográfica é utilizada para confecção das cartas nos três métodos abordados neste trabalho e pode caracterizar também as tipologias dos movimentos gravitacionais de massa (figura 71). Na tabela 01 extraída de BITAR (2014) é verificado que o quantitativo de processos geodinâmicos passíveis de identificação é baixo em uma escala 1: 25.000 contudo, em uma escala maior ou igual a 1: 10.000 a representatividade destes processos passa a ser mais considerável. O manual GIDES define como material preliminar a aplicação metodológica uma base maior ou igual a 1: 10.000 porém este quesito pode não corresponder a realidade dos municípios do estado do Rio de Janeiro pois o governo federal disponibiliza em maior detalhamento uma base topográfica 1: 25.000 do IBGE ainda insuficiente para aplicação de cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana e cartas de Perigo/ Risco a movimentos gravitacionais de massa.

Nos 10% de área urbana do município de Nova Friburgo a PMNF possui uma base 1: 5.000 feita pela empresa EMBRAERO e nos 90% restantes não tem uma base própria dependendo do material do IBGE em escala insuficiente para cartas geológicas-geotécnicas de caráter mais específico. O corpo técnico da Gerência de Geomática/ PMNF considera a base topográfica municipal ainda insuficiente pois na macrozona de ambiente urbano de acordo com o manual GIDES são necessários

estudo de Risco que é definido neste manual por uma escala igual ou maior do que 1: 2.500 e nas macrozonas de ambiente natural e rural seria necessário conforme o mesmo manual uma escala igual ou superior a 1: 10.000 visando o mapeamento de áreas críticas e de dispersão bem como zonas fora de Perigo.

A utilização de modelagens 3D com o software Pix4D a partir de imagens aéreas obtidas com o Drone Phantom4 pode em alguns casos específicos ser uma fonte alternativa de obtenção de bases topográficas, porém a sua principal limitação está no processamento de dados de elevação e não de terreno. Neste caso as modelagens obtidas e os Modelos Digitais de Elevação - MDE geram variações plano-altimétricas de copas de árvores e telhados de construções que uma vez excluídos do processamento do Pix4D resulta em inclinações defasadas frente a realidade. De acordo com BITAR 2014 o Modelo Digital de Terreno - MDT é mais recomendável ao mapeamento geológico-geotécnico.

3.5 Considerações sobre a temática

De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres os movimentos de massa pertencem ao subgrupo de risco geológico e no caso do Brasil este tipo de desastre constantemente gera vítimas fatais e prejuízos econômicos destinados a obras de contenção. Em eventos de grande porte os municípios decretam estado de calamidade pública, contudo neste caso dependem de verbas do Estado e da União para conseguir reconstruir as áreas públicas afetadas e fornecer novamente infraestrutura a população. De uma forma geral a ausência de um mínimo de planejamento urbano atrelada a uma utilização das cartas de mapeamento geológico-geotécnico em projetos de aprovação de plantas de construção é um entrave na gestão eficaz de risco na esfera pública Municipal. Esta falta de planejamento resulta em custos desnecessários do governo visto que as obras geotécnicas de contenção possuem orçamentos elevados que poderiam ser evitadas a partir de um ordenamento dos vetores de crescimento das cidades. Os estudos deste trabalho demonstram que até mesmo uma cidade como Nova Friburgo cadastrada entre os municípios de mais altos índices de risco iminente a escorregamentos pode ter áreas aptas a instalação de novos empreendimentos.

Porém para diagnosticar estes locais são necessárias verificações criteriosas e de caráter objetivo executadas em uma escala local.

A lei 12.608/ 2012 vincula apenas a carta Geotécnica de Aptidão Urbana para vedar novas ocupações em áreas suscetíveis a deslizamentos. Porém esta carta no caso do município de Nova Friburgo foi desenvolvida para prevenção destinada as zonas de rupturas e não a áreas de atingimento visto que a proposta metodológica desta foi construída por inventários de ocorrência de cicatrizes de escorregamentos. Conforme especificado no relatório técnico da CGU o mapeamento de perigo é mais específico. Portanto, é de suma importância que o mesmo seja desenvolvido de preferência em escala local mesmo nas etapas iniciais de delimitação das áreas crítica e dispersão a deslizamentos planares. Desta forma o método inicialmente objetivo definido no manual GIDES poderá sustentar legislações municipais ou constitucionais com o embasamento técnico necessário para uma delimitação consistente de áreas atingidas por deslizamentos planares.

CONCLUSÕES

As cartas de mapeamento geológico-geotécnico são materiais com a finalidade de resguardar vidas e bens materiais e de suma importância na criação de cidades resilientes. No caso de Nova Friburgo, a Carta de Suscetibilidade é o material com escala de menor detalhamento em 1: 25.000 sequenciada da Carta Geotécnica 1: 10.000 de Aptidão Urbana, Carta de Perigo 1: 5.000 e pôr fim a Carta de Risco em uma escala local. A Carta de Suscetibilidade é um facilitador para verificar futuras rupturas de deslizamento planar por características predominantemente geomorfológicas já a Carta Geotécnica tem a mesma finalidade, porém está baseada nas características dos materiais e gêneses envolvidas para o acúmulo dos depósitos ou profundidade da alteração pedológica. Entre os tipos de mapeamentos estudados neste trabalho a Carta de Perigo é a única que delimita as trajetórias dos materiais com os percursos específicos dos deslocamentos e zonas de atingimento frente as diferentes tipologias de movimentos gravitacionais de massa. Esta carta pode em um maior nível de análise resultar no risco geológico.

A análise das cartas foi obtida em uma área com histórico de muitos deslizamentos planares ocorridos no núcleo urbano do centro da cidade de Nova Friburgo com edificações destruídas em grande proporção. A representatividade deste local consiste no percentual de cerca de 7% das 841 edificações perdidas no município e somam um quantitativo de 55 habitações entre casas e prédios. O resultado do trabalho demonstra que mais de 50% das construções civis destruídas em 2011 ocorreram em áreas com inclinações menores que 25° nas duas áreas estudadas o que reforça a importância de uma metodologia que contemple a trajetória dos materiais e áreas atingidas tal como proposto no manual GIDES. O evento geoclimático de 2011 esteve associado a chuvas torrenciais de alta intensidade pluviométrica que contribuíram para um percentual expressivo de ocorrências de deslizamentos planares em solos residuais. As análises estatísticas demonstram que mesmo em condições extremas os limites finais bem como os pontos do início de deflagração podem ser definidos por mensurações topográficas com percentuais de assertividade em torno de 95%. Logo, a aplicação da metodologia de perigo/ risco a deslizamento planar resultou em quantificações

eficazes mesmo para deflagrações de rupturas oriundas de 400 mm de chuva acumulada em um mês e intensidades de 88 mm/ h.

O município de Nova Friburgo possui três cartas com metodologias e escalas distintas que podem ser integradas em uma técnica mais consistente de análise. Como debatido são comuns as abordagens nestas metodologias de mapeamentos incluindo concepções tais como inclinações iguais ou superiores a 25°, a consideração da amplitude bem como a separação em unidades homogêneas de terreno e áreas de atingimento. A adesão de outros dados em escalas iguais ou superiores a 1: 10.000 podem promover integrações maiores entre estas cartas. Estes incluem tipos de solos, litologias e lineamentos estruturais oriundos de eventos geotectônicos. Atualmente tais informações possuem escalas iguais ou superiores a 1: 50.000 dificultando correlações confiáveis entre estes dados de entrada e a ocorrência de deslizamentos planares. A análise de risco é obtida do cruzamento das áreas de potencial perigo com zonas ocupadas. Como demonstrado nas análises de campo no Parque Maria Tereza, distrito de Conselheiro Paulino as ocorrências atreladas ao evento geoclimático de 2011 deixaram evidências nas construções civis atingidas resultando em registros de pretéritos movimentos gravitacionais de massa. As cartas geológico-geotécnicas são confeccionadas com parâmetros de declividade, forma da encosta, amplitude e materiais sobrepostos.

O fator declividade é crucial para definir as áreas de deflagração de deslizamentos planares. Na área de estudo as rupturas analisadas no método possuem em 100% dos casos inclinações iguais ou superiores a 25°. A classe alta da Carta de Suscetibilidade também inclui todas as rupturas de deslizamento, porém ocupando áreas bem maiores. O manual/ GIDES utiliza zonas de atingimento de até 50 metros como também sendo áreas de potencial perigo a movimentos planares acrescido dos 25° de inclinação para origem da ocorrência. O método de perigo/risco tem 95% de assertividade e 53% de aproveitamento. No entanto, os locais disponíveis já se encontram ocupados em uma área urbana adensada. Entende-se que em um adensamento urbano baixo atrelado a uma topografia similar o resultado implicaria em áreas disponíveis para construções de novos empreendimentos no município de Nova Friburgo e, neste caso o avanço do vetor de crescimento urbano seria de forma planejada a uma cidade resiliente para perspectivas futuras.

A forma da encosta também denominada de curvatura do terreno faz parte da metodologia empregada para confecção da Carta de Suscetibilidade, Carta

Geotécnica de Aptidão Urbana e cartas de Perigo/ Risco. Conforme demonstrado por dados estatísticos, existe um predomínio para as ocorrências de deslizamentos planares em vertentes côncavas e estas formas assumem um maior peso para potenciais ocorrências definidas na classificação da CGU. As curvaturas de terreno definem na Carta de Perigo de Nova Friburgo o traçado de linhas que por sua vez irão delimitar as zonas de potencial atingimento a deslizamentos planares. A Carta de Suscetibilidade utiliza unidades homogêneas de terreno separados por limites no talvegue, divisores de águas e nas mudanças de orientação da vertente. Estas por sua vez seguem a mesma delimitação das linhas preconizadas para trajetórias de zonas atingidas da cartografia de Perigo a deslizamento planar. Na prática é observado por fotografias aéreas do evento geoclimático de 2011 que os deslizamentos planares ocorridos nas ruas Cristina Ziede e Augusto Spinelli no Centro da cidade de Nova Friburgo deixam evidente a grande influência da forma da encosta no que tange o mapeamento geológico-geotécnico.

A amplitude da encosta é considerada nos métodos de suscetibilidade e de perigo. Segundo a metodologia GIDES a área de potencial perigo a deslizamento planar é delimitada para encostas com inclinações iguais ou superiores a 25° contendo amplitudes de 5 metros ou mais. A análise estatística obtida por GEGEO/ PMNF em escala 1: 5.000 demonstra que a partir de 5 metros de altura as perdas de construções civis passam a ocorrer na área crítica e em vertentes com inclinações iguais ou superiores a 25° e 23 metros de altura as destruições se situam na área de dispersão. Tendo em vista que cerca de 98% dos dados obtidos em 2011 estão associadas a morros de amplitudes superiores a 15 metros é coerente a utilização de um perigo médio para encostas naturais com amplitudes inferiores e sem indícios de instabilidade. No entanto, estas encostas possuem um caráter diferenciado em relação aos demais taludes artificiais de curta amplitude e alta declividade.

Os materiais sobrepostos as encostas com inclinações maiores ou iguais a 25° e unidades geológicas-geotécnicas associadas foram estudados ao longo de pesquisas e verificações de campo da GEGEO/ PMNF ocorridas de 2016 a 2019. Nestas análises in loco é verificado que os blocos podem ser descalçados mesmo em solo residual implicando no aumento da suscetibilidade local. O relatório técnico da CGU demonstra maiores propensões para ocorrências de escorregamentos futuros nas unidades constituídas de depósitos de corridas de massa, colúvio e tálus. Estes possuem a característica em comum de serem solos transportados

sendo, contudo, verificados neste trabalho como materiais mais predispostos a ter indícios de instabilidade por trincas no terreno. A proposta de integração do método da Carta de Perigo com a Carta Geotécnica de Aptidão Urbana é conferida com a sugestão de atribuir maior grau de perigo para vertentes em unidades de solos transportados (materiais alóctones) de espessuras iguais ou superiores a 0,5 metros recobrando terrenos com capacidade de deflagração a deslizamentos planares. O conjunto de análises de campo deste trabalho demonstram que os solos transportados apresentam mais indícios de instabilidade e podem contribuir para a quantificação dos graus de perigo associados a chuvas normais. Portanto, foi proposto neste trabalho a integração das técnicas de mapeamento das três cartas de mapeamento geológico-geotécnico a partir de um fluxograma de etapas que agrega informações qualitativas para melhores análises e diagnósticos de movimentos gravitacionais de massa do tipo deslizamento planar.

No que diz respeito ao aprimoramento das cartas seguem as algumas sugestões. Na Carta de Suscetibilidade se faz pertinente o cruzamento dos principais índices de suscetibilidade com os deslizamento e mapeamentos litológicos em escalas de maiores detalhes. Entende-se que a ampliação dos diagnósticos dos fatores de predisposição a rupturas planares principalmente nos terrenos com inclinações iguais ou superiores a 25° podem conferir bons resultados. Em relação a Carta Geotécnica de Aptidão Urbana a fim de absorver um maior registro de ocorrências de deslizamentos e conseqüentemente obter uma assertividade maior frente a eventos geoclimáticos futuros recomenda-se a substituição do ângulo de 30° para 25° . No caso do método de Perigo/ Risco a principal sugestão está atrelada a novas versões de manuais que contemplem casos de movimentos complexos abarcando assim análises de tipologias integradas em uma mesma vertente.

As três cartas geológica-geotécnicas podem ser aplicadas nas 821 cidades definidas no cadastro nacional de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos entre outros processos geológicos ou hidrológicos correlatos a partir da criação de legislações regulamentadoras contendo prazos de elaboração do projeto de mapeamento, execução das atividades e conclusão. O investimento financeiro do governo em bases topográficas adequadas por macrozoneamento é indispensável. Portanto a escala mínima destas bases deverá ser igual ou superior a 1: 2.500 em áreas urbanas e mínima de 1: 10.000 nas demais macrozonas. O estudo de casos deste trabalho demonstra que os deslizamentos planares também conhecidos como

escorregamentos translacionais são mais comuns do que os demais movimentos gravitacionais de massa sendo, portanto, prioritário o mapeamento preventivo específico desta tipologia de ocorrência.

A ausência de estudos geológico-geotécnicos em escala de detalhe em mais de 99% do território do município de Nova Friburgo demonstra que a raiz dos problemas no estado do Rio de Janeiro em geral se atrela aos limitados investimentos públicos em riscos geológicos. Portanto é evidente que um mapeamento geológico-geotécnico detalhado evita perdas de vidas humanas e bens materiais bem como minimiza os altos custos de empreendedores em obras de contenção de mitigação da suscetibilidade do terreno. A gestão de riscos geológicos pode ser executada com bases topográficas em escalas adequadas somados a um corpo técnico especializado em mapeamento geológico-geotécnico com dedicação de caráter exclusivo. Apesar de esta não ser a realidade da grande maioria das prefeituras entende-se que um mapeamento integrado entre concepções metodologias das cartas de Suscetibilidade, Geotécnica e Perigo/ Risco resulta em um modelo aplicável. Conforme estabelecido no fluxograma desenvolvido neste estudo a referida integração pode promover a priorização de áreas mais suscetíveis facilitando, portanto, estabelecer limites para compartimentar o terreno baseado no quantitativo de indícios de instabilidade em secções da encosta.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: **Conferência Brasileira sobre estabilidade de encostas**. 1992. p. 721-733.

BITAR, O. Y. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações de Nova Friburgo. **Nota Técnica Explicativa - IPT e CPRM**. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 11 jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Lista dos 821 municípios com o maior número de ocorrências de desastres naturais**. Brasília, 16 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/defesacivil/publicacoes>>. Acesso em: 11 jan. 2019.

CANEDO, P. **Análise hidrológica dos acontecimentos de 11 de janeiro de 2011**. Palestra no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro: COOPE, UFRJ. 2011.

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. **Instrução Normativa** - Anexo V. DGDEC – Departamento Geral de Defesa Civil. 2016. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/legislacao/Anexo-V---Cobrade_com-simbologia.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2019.

CORREA, R. D. & ROCHA, L. P. **Estudo Geológico e Hidrogeológico da Região do Rio Quebó, Nobres (MT), com auxílio de Métodos Geofísicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia). UFMT. Cuiabá. 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa**. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres – GIDES. CPRM. 2018.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Risco Remanescente a Escorregamentos no Município de Nova Friburgo com a Análise de 245 Setores**. Rio de Janeiro: CPRM. 2011.

FERNANDES, N. F. e AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Ed.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro 1996. p.123-194.

NADE/DRM-RJ. **Megadesastre da Serra**. Produção do Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro e de pesquisadores da PUC-RIO, UFRJ e UERJ. DRM-RJ. 2011.

NADE/DRM-RJ. **Plano de Contingência do DRM-RJ**. Produção do Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Período dezembro/2017 – abril/2018. DRM-RJ. 2013.

NADE/DRM-RJ. Cartografia Geotécnica de Aptidão Urbana (CGU), 1:10.000. **Relatório Técnico de Nova Friburgo da “CGU do DRM”**. 2015.

PASTORE, E.L. & FONTES, R.M. Caracterização e Classificação de Solos. In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. de (Eds.). **Geologia de Engenharia**. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE. 1998.

PEREGRINI, P. S. et al. Mapeamento de Perigo para Deslizamento Planar: Aplicação da Metodologia do Projeto GIDES em Nova Friburgo, RJ. In. **II Congresso Brasileiro de Redução de Riscos em Desastres**. Rio de Janeiro, 2017.

ROCHA, L. P. et al. A Database Development in Nova Friburgo town for analysis and complementation of the mapping methodology proposed in the GIDES'S

Project. In. **5th International Civil Protection Conference, SafeKozani**. Kozani, Greece, 2018.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 79-97. 2012.

TOMINAGA, L.K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico (IG). 2011. p. 25-38.