



Research, Society and Development

ISSN: 2525-3409

ISSN: 2525-3409

rsd.articles@gmail.com

Universidade Federal de Itajubá

Brasil

Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni

Costa Júnior, Hamilton; Cavalier Cabral, Stênio

Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni

Research, Society and Development, vol. 8, núm. 12, 2019

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662203001>

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i12.1353>



Este trabalho está sob uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni

Technologies in the mapping of slipping risk areas in Teófilo Otoni


Tecnologías en el mapeo de áreas de riesgo de deslizamiento en Teófilo Otoni

Hamilton Costa Júnior Hamilton.engenharia@gmail.com
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0002-9620-9284>

Stênio Cavalier Cabral stenio.cavalier@gmail.com

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0001-5241-9776>

Research, Society and Development, vol. 8, núm. 12, 2019

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Recepção: 26 Junho 2019

Revised: 29 Julho 2019

Aprovação: 29 Julho 2019

Publicado: 02 Setembro 2019

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i12.1353>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662203001>

Resumo: O crescimento da população urbana é, atualmente, objeto de preocupação do poder público e da população, uma vez que o mesmo gera uma ocupação em ritmo acelerado, constantemente realizada sem planejamento. Para tanto, é necessário identificar as áreas suscetíveis a risco geológico, no intuito de proteger a população da ocorrência de deslizamentos, além de recuperar e proteger espaços já ocupados. O presente estudo busca desenvolver um método de avaliação com o auxílio de um software de geoprocessamento em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que proporcione o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa localizadas nos espaços urbanos de Teófilo Otoni. Para tanto, foi realizada a delimitação da área de estudo, seguida da identificação e qualificação das áreas de perigo a movimentos gravitacionais de massa de deslizamento planar e, por fim, qualificação do risco em algumas destas áreas. Desta feita, foram identificadas e qualificadas trinta e cinco áreas de perigo a processos de deslizamento planar, sendo delimitadas e classificadas as áreas de risco presentes em três dos bairros do município, demonstrando que a utilização de tecnologias de geoprocessamento em plataforma SIG proporcionou de forma satisfatória o mapeamento de áreas de risco em espaços urbanos.

Palavras-chave: Deslizamentos, Áreas de risco, Mapeamento, Geoprocessamento.

Abstract: The growth of the urban population is currently a concern of the public power and population, since it generates an occupation at a fast pace, constantly carried out without planning. To do so, it is necessary to identify areas susceptible to geological risk, in order to protect the population from the occurrence of landslides, in addition to recovering and protecting spaces already occupied. The present study aims to develop an evaluation method with the aid of Geoprocessing software in Geographic Information Systems (GIS), which provides the mapping of areas susceptible to mass gravitational movements located in the urban areas of Teófilo Otoni. In order to do so, the study area was delimited, followed by the identification and qualification of danger areas to planar landslide gravitational movements and, finally, risk qualification in some of these areas. This time, thirty-five areas of danger to planar landslide processes were identified and qualified, and the risk areas present in three of the districts of the municipality were delineated and classified, demonstrating that the use of geoprocessing technologies in a GIS platform satisfactorily provided the mapping of risk areas in urban spaces.

Keywords: Slips, Risk areas, Mapping, Geoprocessing.

Resumen: El crecimiento de la población urbana es actualmente objeto de preocupación del poder público y de la población, ya que el mismo genera una ocupación a ritmo acelerado, constantemente realizada sin planificación. Para ello, es necesario identificar las áreas susceptibles a riesgo geológico, con el fin de proteger a la población de la

ocurrencia de deslizamientos, además de recuperar y proteger espacios ya ocupados. El presente estudio busca desarrollar un método de evaluación con el auxilio de un software de geoprocésamiento en Sistemas de Información Geográfica (SIG), que proporcione el mapeo de áreas susceptibles a movimientos gravitacionales de masa localizadas en los espacios urbanos de Teófilo Otoni. Para ello, se realizó la delimitación del área de estudio, seguida de la identificación y calificación de las áreas de peligro a movimientos gravitacionales de masa de deslizamiento planar y, por último, calificación del riesgo en algunas de estas áreas. De esta forma, se identificaron y calificaron treinta y cinco áreas de peligro a procesos de deslizamiento planar, siendo delimitadas y clasificadas las áreas de riesgo presentes en tres de los barrios del municipio, demostrando que la utilización de tecnologías de geoprocésamiento en plataforma SIG proporcionó de forma satisfactoria el mapeo de áreas de riesgo en espacios urbanos.

Palabras clave: Deslizamientos, Áreas de riesgo, Mapeo, Geoprocésamiento.

1. Introdução

Recentemente, o crescimento da população urbana em ritmo acelerado se tornou objeto de preocupação do poder público e da sociedade, tendo em vista que muitas vezes acarreta a ocupação dos espaços disponíveis sem o devido planejamento. Devem-se evitar neste processo as intervenções topográficas inadequadas, que são potenciais fatores de contribuição para desastres, principalmente em áreas de risco geológico.

Podemos entender áreas de risco geológico como aquelas com características naturais que levam a um maior potencial de sofrer escorregamentos, definidos por Tominaga et al. (2015) como processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação.

Tendo em vista essa preocupação, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias que possam ser empregadas como ferramentas para detecção dessas áreas, capazes de prevenir a ocupação das mesmas e diminuir o risco de acidentes.

Esta busca pode ser impulsionada pela adoção de instrumentos disponibilizados pela evolução tecnológica, como as proporcionadas pelo desenvolvimento da informática, que possibilitou o armazenamento e a representação de informações sobre distribuições geográficas em um ambiente computacional através do geoprocésamento.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um método de avaliação, baseado na aplicação de bases cartográficas disponíveis em bancos de dados abertos, com o auxílio de um software de ferramentas computacionais de geoprocésamento, fundamentado em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que proporcionou a identificação de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa localizadas no espaço urbano de Teófilo Otoni, buscando maior nível de precisão no mapeamento de riscos geológicos.

Para tanto, buscou-se delinear as fases do procedimento de mapeamento de áreas de risco, especificando-os através do estudo de caso da Sede do município de Teófilo Otoni, para desenvolver uma Carta de Perigo à Deslizamento Planar da Área Urbana, além de criar Cartas de Risco à Deslizamento Planar dos bairros mais suscetíveis a este tipo de fenômeno. Buscou-se evidenciar que a utilização do Sistema

de Informações Geográficas (SIG) como instrumento de análise de áreas com susceptibilidade de risco a movimentos gravitacionais de massa pode colaborar na rapidez do processo de avaliação de risco, assim como apontar fontes de dados técnicas necessárias no processo de mapeamento.

Neste cenário, surgiu a seguinte questão a ser avaliada nesta pesquisa: Como as tecnologias de geoprocessamento podem auxiliar no controle de riscos ambientais e geológicos dentro do planejamento urbano? Este questionamento direciona a pesquisa no intuito de contribuir para a promoção de políticas públicas municipais voltadas para a gestão ambiental do espaço territorial urbano, buscando incentivar a cultura da prevenção em detrimento à política de remediação adotada pela maioria das gestões atualmente em nosso país.

De acordo com os artigos analisados, o mapeamento das áreas de risco geológico é a forma mais eficiente de controle de gerenciamento de perigo, especialmente em cidades de relevo acidentado como é o caso de alguns dos espaços urbanos de Teófilo Otoni, que apresentam situação agravada pelas ocupações desordenadas, reunindo fatores que justificam a realização deste estudo.

2. Caracterização e identificação dos riscos geológicos presentes no espaço urbano

Segundo Tominaga et al. (2015), risco pode ser entendido como a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade.

As áreas de risco são áreas passíveis de serem atingidas por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais (BRASIL, 2007).

A expansão imobiliária e o crescimento demográfico trouxeram muitos impactos negativos às áreas urbanas, onde os planos diretores de urbanização eram ineficazes ou inexistentes (BARBOSA, 2014). Neste cenário, a ocupação desordenada dos espaços urbanos coloca cada vez mais a população em situações de risco geológico, uma vez que a mesma fica a mercê de sofrer impactos cada vez mais abrangentes.

Sob o ponto de vista técnico, a análise e estudo desses movimentos se dá através do estudo de estabilidade de taludes. Para Caputo (2008), sob o nome genérico de taludes compreendem-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha, podendo ser naturais, casos das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros.

Tominaga et al. (2015) define movimento de massa como o movimento de solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente, sob a ação direta da gravidade.

Os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, pois envolve uma variedade de materiais e processos, o que acaba por diversificar os sistemas

de classificação e tipologia, com destaque entre as classificações brasileiras para a de Augusto Filho (1995) (Quadro 1).

Quadro 1 -
Principais tipos de movimentos de massa em encostas.

Processos	Geometria / Material / Dinâmica
Deslizamentos	· Poucos planos de deslocamento (externos) · Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) · Pequenos a grandes volumes de materiais · Geometria e materiais variáveis Planares: solos pouco espessos; solos e rochas com plano de fraqueza · Rotacionais: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas
Quedas	· 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.
Fluxo de Detritos	· 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: Augusto Filho, 1995. Adaptado.

Os deslizamentos são movimentos rápidos, com volumes definidos, deflagrados em porções inclinadas do terreno. Neles há deslocamento descendente de solo, rocha e/ou material orgânico sob a ação da gravidade (TOMINAGA et al., 2015). Destaca-se que o movimento será acompanhado predominantemente por uma rotação (rotacional) ou por uma translação (planar).

Segundo Guidicini e Nieble (1983), o deslizamento rotacional de solo é um fenômeno verificado nas encostas brasileiras, mobilizando geralmente o manto de alteração. Sua ocorrência está associada à existência de aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, assim como rochas intensamente fraturadas (ROQUE, 2013).

De acordo com Wicander et al. (2017), o deslizamento planar ocorre quando o material se movimenta encosta abaixo, geralmente, ao longo de uma superfície planar.

Torres et al. (2012) destaca que os escorregamentos translacionais são, em geral, compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, na maioria das vezes, entre 0,5 e 5 metros.

Para Wicander et al. (2017), quedas de blocos são um tipo de movimento gravitacional de massa, extremamente rápido, no qual as rochas de qualquer tamanho, desagregadas das encostas, sofrem queda livre, geralmente ocorrem ao longo de cânions escarpados, penhascos íngremes e cortes de estradas.

Os fluxos de detritos (Debris Flows) são eventos caracterizados pelo rápido deslocamento de massa fluida de alta viscosidade, composta, principalmente, por solo, rocha, vegetação, detritos de origem antrópica e água (AUGUSTO FILHO, 1995).

Segundo Pinto (2015), a instabilidade das vertentes está associada às diferentes características físico-químicas e propriedades mecânicas presentes nas rochas sob influência morfoclimáticas.

Entre as causas apontadas, elencar-se-á a seguir aquelas provocadas por agentes presentes nos empreendimentos urbanos, no intuito de esclarecer os fatores a serem combatidos ou evitados.

Intemperismo: Maciel Filho (2008) descreve o intemperismo como sendo os processos de desintegração e decomposição (modificação da mineralogia e química das rochas) que ocorrem na superfície da crosta terrestre, em função do contato desta com a atmosfera ou, em parte, com a hidrosfera.

Geometria do Sistema: as mudanças na geometria do sistema tem papel importante, uma vez que a declividade da encosta $e^\#$, provavelmente, a principal causa da movimentação gravitacional de massa. É muito comum à realização de cortes em encostas, seja para a implantação de sistema viário ou para construção de moradias, que apresentam altura e inclinação incompatíveis com os limites de resistência do solo, possibilitando a ocorrência de escorregamento (ROQUE, 2013).

Cobertura Vegetal: Santos (2014) destaca que o desmatamento provoca a erosão ao retirar a cobertura vegetal do solo, que então deixa de absorver água pelas raízes das árvores e plantas, que passa a infiltrar e destruir sua estrutura de sustentação. Portanto, o papel da floresta se dá no sentido de reduzir a intensidade da atuação dos agentes do clima no maciço natural, assim favorecendo a estabilidade das encostas.

Índice pluviométrico: A alta pluviosidade constitui um dos principais fatores para desencadear um movimento de massa em ladeiras com declives elevados que têm condições críticas de equilíbrio. Segundo Guidicini e Nieble (1983), as chuvas não representam senão um dos aspectos a serem consideradas na tentativa de análise de condições que conduzem ao aparecimento de escorregamentos.

Saito et al. (2015) enfatiza que tornar a sociedade menos vulnerável a desastres não é somente oferecer infraestrutura física para as residências, mas melhorar a percepção de risco dentro da comunidade com o propósito de aumentar a resiliência diante aos possíveis desastres.

Assis (2017) ressalta que os mapeamentos de risco no Brasil são feitos geralmente por avaliações qualitativas, onde os riscos são classificados de acordo com a avaliação técnica de quem realiza o mapeamento em campo, apoiado nas informações dos habitantes locais.

A maioria dos procedimentos metodológicos de mapeamento utilizam indícios de fatores deflagradores de movimentação de massa como indicadores de risco, sendo importante elencar e apontar a hierarquização dos mesmos.

O fator com maior destaque é a geometria das encostas, sendo diretamente relacionado à declividade, observado como principal na maioria dos métodos de avaliação. Em sua obra, Souza et al. (2015) propõe uma categorização de declividade estruturadas em cinco classes, definidas de acordo com a predisposição de risco a movimentos gravitacionais de massa, apresentados a seguir:

0° a 5° - Áreas mais planas que podem sofrer influência direta dos corpos d'água, podendo englobar terraços fluviais e planícies de inundação (DANTAS, 2010) e áreas em topos de morro aplainados.

5° a 15° - Áreas onde a inclinação das encostas não significa grande empecilho à ocupação.

15° a 30° - Áreas mais inclinadas, passíveis de ocupação, porém condicionadas à execução de estudos geológico-geotécnicos (BRASIL, 1979). Marsh (1978) e Cunha (1991) indicam a declividade máxima de 25° como limite técnico recomendável à ocupação, a partir do qual são necessárias infraestruturas que incidem custos extremamente elevados.

30° a 45° - Áreas muito inclinadas, consideradas de uso restrito pelo Código Florestal (Brasil, 2012), com maior propensão ao desenvolvimento de processos geodinâmicos diversos.

> 45° - Áreas altamente inclinadas, inviáveis para a ocupação urbana devido a sua potencialidade em sediar diferentes eventos geodinâmicos de grande magnitude. Ainda, o limite de 45° ou 100% representa uma restrição legal definida pelo código florestal como área de preservação permanente (BRASIL, 2012).

Os trabalhos analisados indicam que a composição da encosta, solo ou rocha, assim como a espessura das camadas que a compõe, delimitam quais os tipos de movimentos gravitacionais são mais susceptíveis de ocorrer em cada área. Trata-se do resultado do formato e da amplitude da encosta, em que vertentes com maior altitude e mais inclinadas tendem a ser compostas por solos menos desenvolvidos e pouco espessos ou paredes rochosos, e as com menor declividade solos mais desenvolvidos e espessos. Os autores apontam que encostas formadas por estreitas camadas de solo sobre a rocha, geralmente desenvolvidos das vertentes com altas declividades, favorecem a ocorrência de deslizamentos planar.

De acordo com Roque (2013) a ocorrência de deslizamentos rotacionais geralmente está associada a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, assim como a rochas intensamente fraturadas. As mesmas são condicionadas pelo perfil de intemperismo mais profundo.

Com relação a fluxo de detritos, sua ocorrência não está relacionada diretamente à espessura da camada de solo, pois, segundo a CPRM (2018), áreas potenciais devem possuir bacia hidrográfica de contribuição com área igual ou superior a 1 hectare, drenagem em vale confinado e linha de talvegue com inclinação média de 10°.

Segundo Brasil (2007), a ocorrência do processo de queda de blocos está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, tais como, cortes em rocha e frentes de lavra, sendo potencializados pelas amplitudes térmicas.

Além dos processos naturais relacionados, é importante destacar a influência dos condicionantes antrópicos, como as intervenções de terraplanagem indevidas, o controle de cobertura vegetal e a deficiência ou falta de obras de infraestrutura e saneamento nas vertentes ocupadas.

Para Silva (2016) a execução de cortes em encostas com inclinação e alturas excessivas, incompatíveis com a resistência intrínseca do solo, possibilita a ocorrência de escorregamentos.

As encostas onde foram removidas as coberturas vegetais estão mais sujeitas à ocorrência de escorregamentos superficiais devido a erosão. Sampaio et al. (2013) aponta que os processos erosivos ocorrem amplamente em relevos de montanhas com altas declividades onde as encostas foram desprovidas da cobertura vegetal.

Entretanto, há certos tipos de vegetação cuja presença é prejudicial à estabilidade dos taludes, pois permite maior infiltração de água, tais como bananeiras, pois seu sistema radicular pouco profundo e alto poder de retenção de água acabam atuando como peso extra (CAMPOS, 2011).

A influência da infraestrutura de saneamento também é um condicionante a ser observado, com destaque para o sistema de drenagem pluvial. Roque (2013) aponta que a deficiência ou inexistência de um sistema de drenagem de águas pluviais, faz com que água infiltre no solo, através de trincas, levando à saturação, que acaba diminuindo sua resistência e provocando a ruptura de taludes.

A existência de um sistema de coleta de esgoto eficiente deve ser observado, pois, segundo Campus (2011), o lançamento de águas servidas permite uma infiltração contínua do solo, podendo provocar sua saturação e consequente ruptura de taludes.

Caixeta et al. (2012) ressalta que as construções e as ruas pavimentadas são grandes responsáveis pela impermeabilização do solo, o que causa concentração do escoamento superficial na ausência de sistema de drenagem eficiente, resultando em maiores chances de movimento de massa.

A coleta de resíduos sólidos urbanos trata-se de outro condicionante, pois lançamento de lixo e entulho nas encostas cria condições favoráveis para a ocorrência de escorregamento, pois o material é extremamente poroso e capaz de acumular água em períodos chuvosos, se tornando um peso extra, fazendo com que essa massa de material se desloque (ROQUE, 2013).

Dados os condicionantes naturais e antrópicos relacionados à suscetibilidade de movimentos gravitacionais, torna-se necessário verificar a vulnerabilidade das edificações presentes na área.

Os fatores de danos associados à vulnerabilidade da ocupação são avaliados a partir da caracterização dos diferentes componentes presentes. As deficiências construtivas das edificações tornam as moradias menos capazes de suportar o impacto dos materiais mobilizados (IPT, 2007).

A posição relativa das moradias na encosta (topo, meio ou base da encosta) é um dado importante a ser reconhecido, na medida em que a situação de risco de atingimento de moradias pela mobilização de materiais a montante é mais crítica e frequente do que a possibilidade de queda da moradia (CAMPUS, 2011).

A tecnologia da computação revolucionou a cartografia, pois o mapeamento computadorizado permite uma revisão rápida, além da possibilidade de serem digitalizados e impressos rapidamente. Neste cenário, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) constitui um instrumento técnico de alta capacidade no tratamento de grande volume de dados de variadas fontes, propiciando os meios necessários

para obtenção de informações relacionadas ao meio antropizado (TOMINAGA, 2007).

Segundo Assis (2017), a elaboração de cartas geotécnicas de susceptibilidade em ambiente SIG demanda o cruzamento de múltiplos fatores de interferência na sistematização de dados espaciais e não espaciais para a geração dos produtos finais. Um ponto importante é a possibilidade de identificação de áreas de interesse através da setorização, definida por Sampaio et al. (2013) como um polígono envolvendo a porção de uma encosta com potencial para sofrer algum processo.

Uma base de dados passível de utilização é o modelo digital de elevação (MDE) e os produtos extraídos que, segundo Dahal et al. (2007), são uma chave para gerar vários parâmetros topográficos, que influenciam a atividade do escorregamento em uma área.

A utilização de um SIG pode representar diminuição de custo e de tempo e precisão nas informações, uma vez que a produção de um mapa pode ser acelerada e redução de custo, além de sua utilização por acesso digital facilitada.

2. Local de estudo

A área de estudo foi o espaço urbano da cidade de Teófilo Otoni, que está localizado no nordeste do estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas de latitude 17° 51' 32" Sul e longitude 41° 30' 32" Oeste, na região do Vale do Mucuri. O município possui uma área total de 3.242,27 km² e uma população de 134.745 no período de 2010 e estimada de 140.235 habitantes para o ano de 2018, sendo que 80% destes residem na zona urbana da cidade (IBGE, 2018), distribuída por 43 bairros (Figura 1).

O nível de base local é dado pelo leito do rio Todos os Santos, que tem, no trecho urbano, as margens contidas por gabiões e um perfil de declividade longitudinal moderada, com energia suficiente para o transporte de sedimento fino. Nos limites da área urbanizada da cidade o rio desce 25 m em 1440 m, o que corresponde a uma declividade longitudinal de cerca de 1,7% obtida de planta hipsométrica (TEÓFILO OTONI, 2008).

Segundo Sá Júnior (2009) a classificação Köppen e Geiger do clima de Teófilo Otoni é Aw, que corresponde ao clima tropical úmido de savana, em que a época mais seca coincide com o inverno. De acordo com IBGE (2018) a temperatura média anual de 23 °C, com invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas elevadas.

O relevo da cidade é essencialmente montanhoso, sendo que aproximadamente 60% do território é coberto por mares de morros e montanhas, enquanto em cerca de 30% do território há o predomínio de terrenos ondulados, e os 10% restantes são lugares planos (IBGE, 2018).

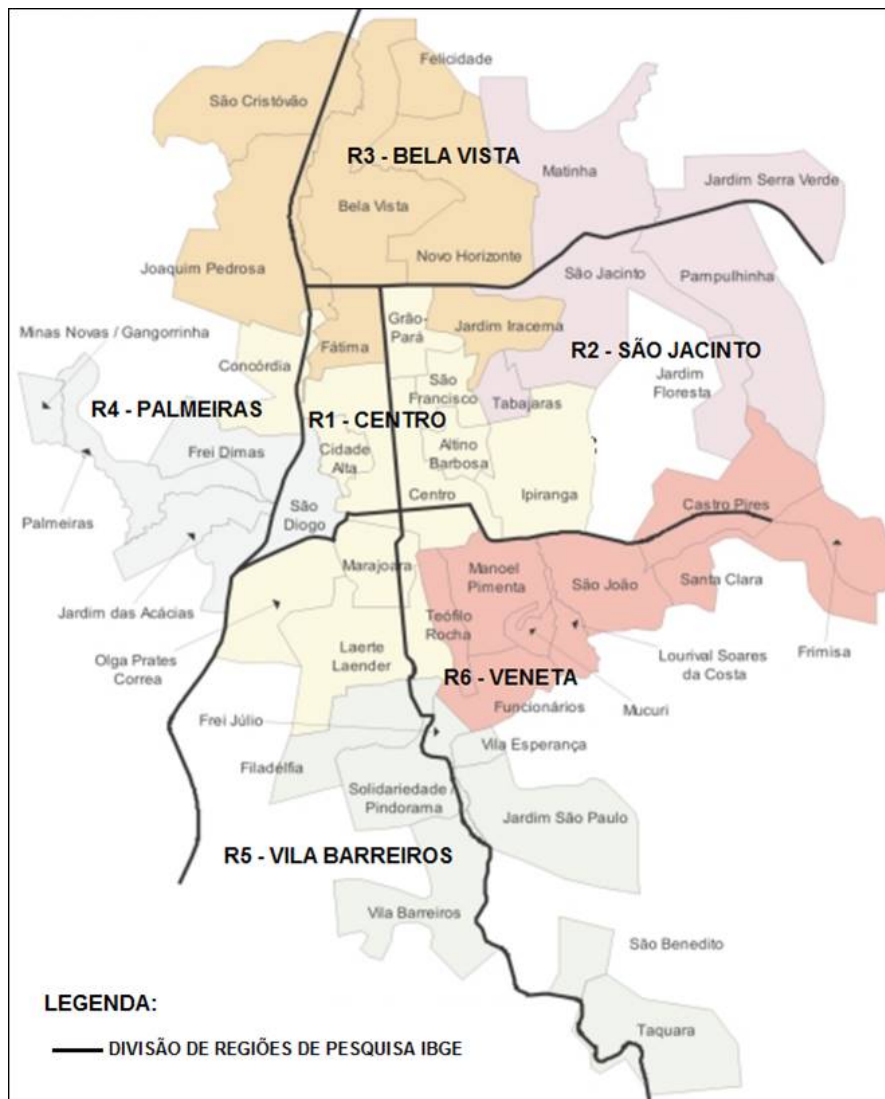


Figura 1 –
Mapa da sede do município de Teófilo Otoni.
Fonte: Teófilo Otoni, 2008.

Tomando como base o levantamento geológico do Projeto Leste (CPRM, 1996), verifica-se que a área urbana de Teófilo Otoni está localizada em um local de encontro de duas formações geológicas distintas, o Tumiritinga e o Tonalito São Vitor, o que indica uma formação de tipos de solo mais complexa e distinta de outras regiões.

A partir de informações obtidas através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2018), que possui informações relevantes de poços artesianos em todo o território brasileiro, foram mapeados os poços localizados em um raio de cinco quilômetros do centro da cidade, que apresentassem o perfil construtivo para consulta, no intuito de identificar a espessura e a composição da formação litológica no entorno da área urbana. Desta feita foi catalogado um total de 26 poços, apresentados na Tabela 1, que possibilitaram identificar uma espessura média de camada de solo em torno de 6 metros, com composição de solos variada e base litológica característica de derivados de granito.

Tabela 1 –
Informações dos poços analisados.

Item	Poço	Latitude	Longitude	Camada de solo (m)	Composição da camada de solo
1	3100019253	17°55'24"	41°28'27"	6	Solo argiloso.
2	3100019254	17°55'20"	41°28'26"	2	Solo argiloso.
3	3100019256	17°51'45"	41°30'26"	9	Solo argiloso e arenoso.
4	3100019258	17°33'52"	41°05'58"	10	Solo argiloso.
5	3100019264	17°57'26"	41°29'24"	8	Solo arenoso.
6	3100019266	17°52'19"	41°30'16"	14	Solo argiloso.
7	3100021588	17°57'34"	41°29'31"	6	Solo argilo-siltoso.
8	3100021594	17°56'06"	41°31'49"	14	Solo areno-argiloso.
9	3100021596	17°47'39"	41°28'25"	4	Solo argiloso.
10	3100021599	17°51'15"	41°34'27"	4	Solo arenoso.
11	3100021600	17°52'10"	41°32'06"	6	Solo argiloso e areno-argiloso.
12	3100021602	17°51'02"	41°30'49"	6	Solo argiloso.
13	3100021603	17°52'13"	41°29'29"	4	Solo argiloso.
14	3100021608	17°51'14"	41°30'22"	4	Solo argiloso.
15	3100021609	17°51'22"	41°28'56"	6	Solo argiloso e arenoso.
16	3100021610	17°50'48"	41°30'59"	4	Solo argiloso.
17	3100021611	17°51'14"	41°34'33"	4	Solo areno-argiloso.
18	3100021612	17°51'00"	41°29'31"	4	Solo argiloso e arenoso.
19	3100021613	17°50'28"	41°30'54"	4	Solo argiloso.
20	3100021614	17°51'23"	41°30'22"	4	Solo argiloso.
21	3100021615	17°52'59"	41°30'05"	2	Solo areno-argiloso.
22	3100021616	17°51'02"	41°29'28"	4	Solo argiloso.
23	3100021617	17°52'40"	41°30'20"	10	Solo areno-argiloso.
24	3100021618	17°52'40"	41°30'23"	4	Solo argiloso.
25	3100021619	17°52'25"	41°35'18"	6	Solo silte-arenoso e solo argiloso.
26	3100021621	17°52'25"	41°35'27"	4	Solo argiloso.

Fonte: SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2018).

Segundo Santos et al. (2006), na região da sede de Teófilo Otoni predomina o tipo de solo denominado latossolo, com predominância de latossolos vermelho-amarelos, que de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos caracterizam-se por serem compostos de material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. Segundo os autores, tratam-se de solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo.

As características do local de estudo apuradas, proporcionaram o delineamento da pesquisa no intuito de apontar quais tipos de movimentos são possíveis de ocorrer na área de estudo.

Em se tratando de escorregamentos, já expostos como sendo os mais comuns no Brasil, inclusive na região sudeste em locais com topografia acidentada, observa-se que as pequenas espessuras das camadas de solo

presentes na região, levantadas através dos dados obtidos no SIAGAS (2018), favorecem a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa de deslizamento planar, relatados como sendo movimentos geralmente compridos e rasos, com plano de ruptura próximo a superfície da encosta.

Existe assim menor probabilidade de ocorrência de deslizamentos rotacionais, já que os mesmos geralmente estão associados a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, assim como a rochas intensamente fraturadas.

A bacia do Rio Todos os Santos, responsável pela drenagem aluvial do local de estudo, segundo Teófilo Otoni (2008), possui uma declividade longitudinal de cerca de 1,7%, que equivale a menos de 1°, uma vez que nos limites da área urbanizada o rio desce 25 m em 1.440 m, situação que não favorece a ocorrência de fluxo de detritos, com predomínio em talwegues com inclinação média de 10°.

Como não se identifica no local de estudo a presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação como cortes em rocha e frentes de lavra, a região apresenta baixa probabilidade de ocorrência de queda de blocos.

Ao caracterizar os domínios geológicos de Minas Gerais, Sampaio et al. (2013) expõe que a grande diversidade morfológica e o predomínio de rochas cristalinas em algumas regiões definem e condicionam a tipologia de processos geológicos, ocorrendo de forma predominante os deslizamentos planares (translacionais). A cidade de Teófilo Otoni se classifica neste cenário, com predominância de feições montanhosas com ocupação urbana, potencializando a probabilidade de uma moradia se localizar em áreas susceptíveis a movimentos de massa.

4. Metodologia

Na realização deste trabalho utilizou-se uma pesquisa aplicada, já que é voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica, de caráter exploratório, delineada como estudo de caso. Segundo Gil (2018), as pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, sendo que a coleta de dados pode ocorrer de diversas maneiras, geralmente envolvendo levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

O presente trabalho se verteu da pesquisa de literaturas atualizadas publicadas em livros, dissertações e periódicos, ou disponibilizadas na internet, de assuntos voltados para avaliação e controle de áreas de risco geológico e ambiental, além de métodos de estabilização, desta forma foi possível reunir conceitos importantes, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A pesquisa bibliográfica foi realizada com o objetivo principal, de delinear um método de detecção de áreas de risco geológico a partir dos seguintes subsídios: conceituação dos riscos geológicos e ambientais presentes no meio urbano; estudo dos movimentos gravitacionais de

massa; caracterização de mapeamento; e tecnologias computacionais aplicadas através do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Portanto, a presente metodologia de mapeamento se verterá sobre a identificação dos movimentos gravitacionais de massa do tipo deslizamento planar, já relatado como sendo o mais comum em relevos acidentados e características similares ao local de estudo.

A elaboração das cartas de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa, adotou a sequência metodológica descrita a seguir (Figura 2), composta por três etapas.

A primeira etapa consistiu na análise da área de estudo através de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, relativos à área de estudo, elaborados a partir dos dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizados pelo USGS (United States Geological Survey) na rede mundial de computadores, oferecidos no Brasil pela TOPODATA (Bancos de Dados Geomorfométricos do Brasil), sendo adotado para tanto o software ArcGIS Desktop 10.6.1 (2018), com Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A área de estudo foi delimitada através da vetorização de uma camada de trabalho em uma plataforma de geoprocessamento com tecnologia SIG, abrangendo toda a área urbanizada da sede do município de Teófilo Otoni.

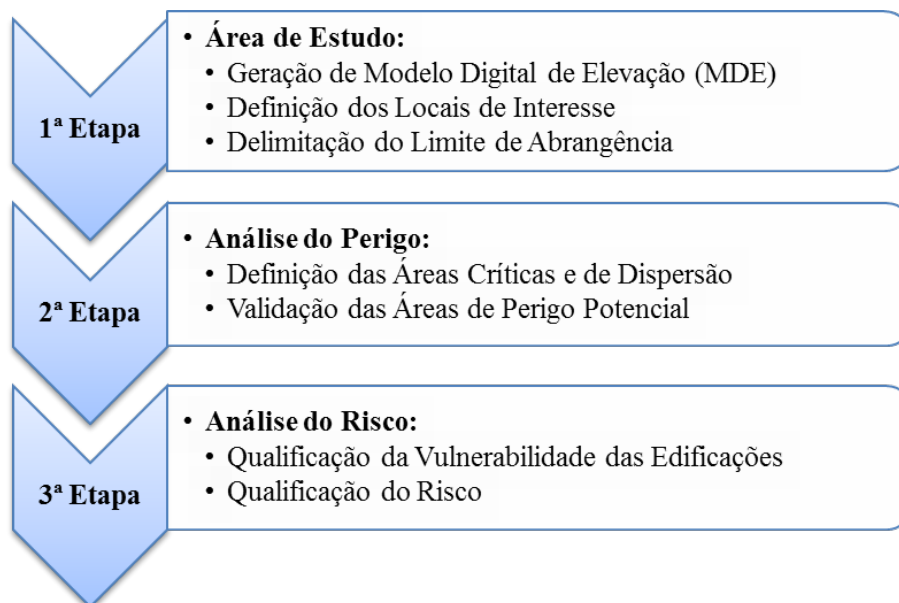


Figura 2 –
Etapas da metodologia de elaboração de cartas de perigo e risco a deslizamento planar em Teófilo Otoni.

Fonte: Autoria própria, 2019.

A segunda etapa consistiu na Análise de Perigo, através da delimitação das áreas crítica e de dispersão por meio da aplicação de critérios topográficos, que consiste no reconhecimento do tipo de movimento gravitacional de massa potencial, por meio da análise da carta de inclinação gerada pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Sobre o MDE da área de estudo foi gerada uma carta de inclinação, seguindo os intervalos preferenciais de deflagração de deslizamento planar, assim como a extração das curvas de nível a cada metro, realizados de forma digital com o auxílio do software SIG.

A carta de inclinação possibilitou a identificação das áreas dentro dos limites topográficos de ocorrência de deslizamento planar, assim como a avaliação da área de ocorrência do processo, ou seja, deflagração e atingimento, que compõem as áreas crítica e de dispersão. Para caracterização destas áreas, foi utilizada a apontada pelo método GUIDES/ CPRM (2018), apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 –
Caracterização de áreas crítica e de dispersão.

Potencial	Critica	Área com maior probabilidade à deflagração de movimentos gravitacionais de massa e atingimento do material mobilizado. Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma concentrada na área afetada.
	Dispersão	Área sujeita a deposição do material mobilizado durante um movimento de massa. Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma dispersa na área afetada.

Fonte: CPRM, 2018. Adaptado.

A extensão e a localização das áreas crítica e de dispersão variam de acordo com o processo de movimento gravitacional de massa, neste caso deslizamento planar.

O potencial para ocorrência de deslizamento planar foi reconhecido na topografia por meio de observação da inclinação e altura da encosta identificadas na carta de inclinação, em que as porções da mesma que atendem aos critérios de inclinação igual ou superior a 25° e altura igual ou maior que 5 m entre os limites da condição topográfica.

Posteriormente, se realizou a qualificação do grau de perigo com base na observação de indícios de instabilidade no terreno in loco, sendo aplicadas as classes extraídas da metodologia GUIDES/CPRM (2018) apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 –
Classes de Perigo para as áreas críticas e de dispersão.

Perigo	Descrição
Baixo (P1)	Mantidas as condições da área crítica correspondente, é possível o atingimento da área por movimentos gravitacionais de massa no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
Moderado (P2)	São atendidos os critérios topográficos, porém não são observadas feições de instabilidade. Mantidas as condições existentes, é possível a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
Alto (P3)	São atendidos os critérios topográficos e/ou são observados indícios de instabilidade no terreno. Mantidas as condições existentes, é alta a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
Muito alto (P4)	São atendidos os critérios topográficos e/ou são observados indícios marcantes de instabilidade no terreno de acordo com o tipo de movimento. Mantidas as condições existentes, é muito alta a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa no período compreendido por uma estação chuvosa normal.

Fonte: CPRM, 2018.

O produto desta etapa é a Carta de Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa, com a delimitação dos polígonos das áreas de risco qualificadas quanto ao seu grau.

Na terceira etapa o foco da análise são as consequências dos movimentos gravitacionais de massa para a sociedade, avaliando-se as condições das construções frente aos processos com potencial de ocorrência, através da análise de ‘vulnerabilidade’ proporcionada pela metodologia do IPT/CPRM (2012) (Quadro 4).

Quadro 4 –
Classes de Vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Descrição
Baixa (V1)	Construções de alvenaria bem construídas, sem danos estruturais, e que apresentam laudo técnico específico de engenharia comprovando sua resistência frente ao movimento gravitacional de massa identificado.
Moderada (V2)	Construções de alvenaria visualmente bem construídas, sem danos estruturais (provocados por movimentações no terreno). Não necessitam de laudo técnico especializado.
Alta (V3)	Construções de alvenaria com danos estruturais presentes (provocados por movimentações no terreno), ou construções mistas (alvenaria e madeira) ou totalmente de madeira, visualmente bem construídas.
Muito alta (V4)	Construções de alvenaria com danos estruturais marcantes, ou construções mistas danificadas (com trincas e danos estruturais), casa de madeira, casas de pau a pique ou de taipa em condições construtivas precárias.

Fonte: BRASIL, 2007.

A classificação do risco foi baseada na delimitação de alcance dos eventos, reconhecimento de feições de instabilidade e resistência das construções (Quadro 5).

**Quadro 5 –
Classes de Risco.**

Risco	Descrição
Baixo (R1)	Ausência de indícios de instabilidade no terreno; alto nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é baixa a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.
Moderado (R2)	Há indícios pouco claros de instabilidade no terreno; alto a moderado nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é moderada a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.
Alto (R3)	Indícios claros de instabilidade no terreno; baixo a moderado nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é alta a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.
Muito Alto (R4)	Presença marcante de indícios de instabilidade no terreno; baixo nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é muito alta a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.

Fonte: CPRM, 2018.

O produto final desta etapa são as Cartas de Risco à Deslizamento Planar, que exhibe os polígonos dos setores de risco com as respectivas qualificações.

5. Resultados e discursões

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram extraídos os mapas de declividade e curvas de nível a cada metro, compatibilizadas de modo a produzir uma Carta de Inclinação (Figura 3).

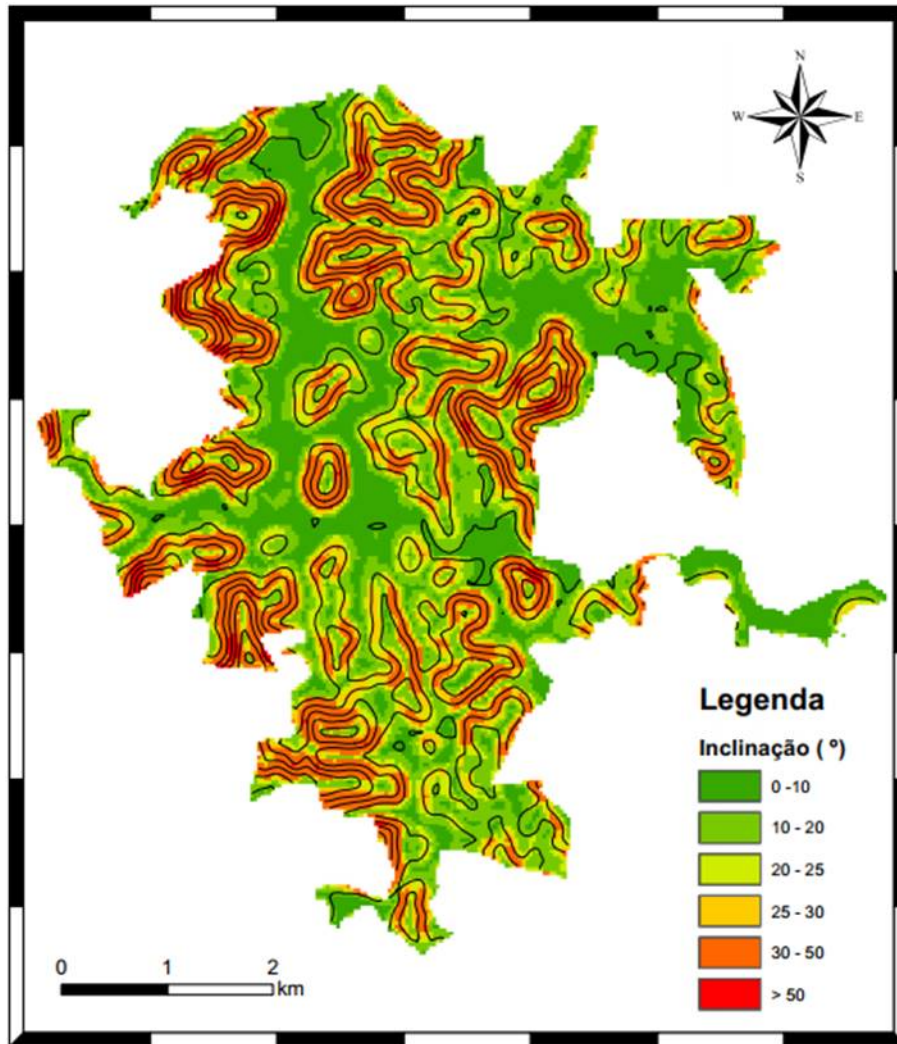


Figura 3 –
Carta de Inclinação*.

*Curvas de nível apresentadas a cada 20 metros.
Fonte: Autoria Própria, 2019.

Posteriormente, iniciou-se a avaliação das áreas passíveis de ocorrência do processo de deslizamento planar, buscando confirmar os critérios topográficos e descartando as áreas que não atendam os mesmos, assim como aquelas que não possuem edificações e que abrangem áreas pequenas, além de realizar a junção de algumas delas. A aplicação resultou na delimitação de 35 áreas críticas e de dispersão referente ao deslizamento planar dentro da área de estudo (Figura 4).

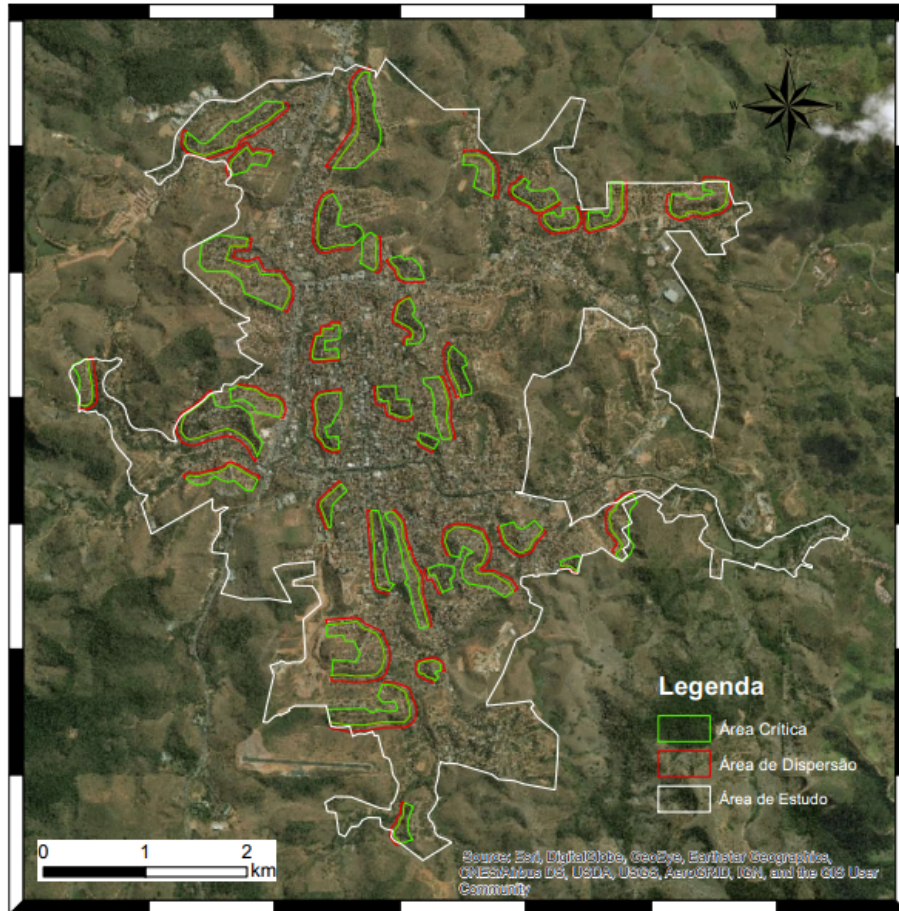


Figura 4 –
Limites das áreas crítica e de dispersão para deslizamento planar.
Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os setores de perigo a movimento gravitacional de massa de deslizamento planar apontados na área urbana do município de Teófilo Otoni foram identificados conforme apresentado no Quadro 6, apresentando números dos setores associados aos bairros.

Quadro 6 –
Setores de Perigo de deslizamento planar em Teófilo Otoni.

SETOR	LOCAL	SETOR	LOCAL
01	São Cristóvão	19	Jardim das Acácias
02	São Cristóvão (Viriato)	20	Cidade Alta
03	Felicidade (Vila Betel)	21	Altino Barbosa
04	Bela Vista	22	Altino Barbosa
05	Joaquim Pedrosa	23	Altino Barbosa
06	Novo Horizonte	24	Marajoara
07	Novo Horizonte (Boiadeiro)	25	Marajoara
08	Matinha	26	Teófilo Rocha
09	Matinha	27	Teófilo Rocha
10	Matinha	28	Manoel Pimenta
11	Jardim Serra Verde	29	São João
12	Jardim Serra Verde	30	São João
13	Fátima	31	São João
14	Grão Pará	32	Filadélfia
15	Tabajaras	33	Vila Esperança
16	Minas Novas / Gangorrinha	34	Solidariedade
17	Palmeiras	35	Vila Barreiros
18	Frei Dimas		

Fonte: Autoria Própria, 2019.

A seguir, passou-se à vistoria in loco, no intuito de validar as áreas de perigo potencial definidas em escritório, através da confirmação dos critérios topográficos, e qualificar o grau de perigo, com base na observação de indícios de instabilidade.

Os setores considerados com classificação de Perigo Moderado foram apenas 5, apresentados no Quadro 7, que apesar de estarem situados em regiões com declividade acentuada e possuem condições topográficas favoráveis a deslizamento planar, têm infraestrutura de saneamento e drenagens de água pluviais parcial, apresentando raras intervenções inadequadas de talude de corte (90°) em solo e aterros.

Quadro 7 –
Setores classificados com Perigo Moderado.

	SETOR	LOCAL
Perigo Moderado	08	Matinha
	13	Fátima
	24	Marajoara
	25	Marajoara
	32	Filadélfia

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os principais fatores indutores ao risco nestes setores estão relacionados à declividade superior a 25° e canalizações de águas pluviais sendo dispostas diretamente sob os terrenos e vias, uma vez que o fluxo constante no solo causa o aumento da saturação, diminui a resistência e eleva o risco de movimentos de massa.

Os setores considerados com classificação de Perigo Alto foram 16, apresentados no Quadro 8, que estão situados em regiões com declividade acentuada e com condições topográficas favoráveis a deslizamento planar, instalados quase que totalmente em encostas íngremes, com baixa infraestrutura de drenagens de águas pluviais, apresentando sucessivas intervenções inadequadas de talude de corte (90 °) em solo e aterros.

Quadro 8 –
Setores classificados com Perigo Alto.

	SETOR	LOCAL
Perigo Alto	03	Felicidade (Vila Betel)
	04	Bela Vista
	06	Novo Horizonte
	10	Matinha
	11	Jardim Serra Verde
	12	Jardim Serra Verde
	14	Grão Pará
	15	Tabajaras
	16	Minas Novas / Gangorrinha
	19	Jardim das Acácias
	20	Cidade Alta
	26	Teófilo Rocha
	31	São João
	33	Vila Esperança
	34	Solidariedade
	35	Vila Barreiros

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os principais fatores indutores ao risco nestes setores estão relacionados à declividade superior a 30° e sistemas de drenagem de águas pluviais inexistentes ou insuficientes, que pode resultar na maior concentração de água no solo, diminuindo sua resistência e provocando a ruptura de cortes e aterros, principalmente em ocasiões onde a saturação do solo aumenta naturalmente, como nos períodos de maiores concentração e intensidade pluviométrica. Observa-se a instalação de moradias em locais inadequados, obstruindo a passagem das águas pluviais, interferindo na drenagem natural e agravando a situação.

São exibidos processos erosivos nas faces de solo exposto, taludes de corte com inclinação excessiva e aterros inadequados, além de cicatrizes de deslizamento planar, degraus de abatimento e queima de entulhos sobre os taludes.

Os demais 14 setores foram considerados com classificação de Perigo Muito Alto, apresentados no Quadro 9, se tratando de regiões de alta declividade, com encostas íngremes com pouca infraestrutura de saneamento e sistema de drenagem de águas pluviais insuficiente, apresentando sucessivas intervenções inadequadas de talude de corte (90°) em solo e aterros.

Quadro 9 –
Setores classificados com Perigo Muito Alto.

	SETOR	LOCAL
Perigo Muito Alto	01	São Cristóvão
	02	São Cristóvão (Vriato)
	05	Joaquim Pedrosa
	07	Novo Horizonte (Boiadeiro)
	09	Matinha
	17	Palmeiras
	18	Frei Dimas
	21	Altino Barbosa
	22	Altino Barbosa
	23	Altino Barbosa
	27	Teófilo Rocha
	28	Manoel Pimenta
	29	São João
	30	São João

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os principais fatores indutores ao risco nestes setores estão relacionados à declividade superior a 40°, em alguns locais ultrapassando 45°, associadas à presença de taludes de corte com inclinação excessiva e ao solo exposto, impondo a estas áreas uma predisposição natural às deflagrações mofordinâmicas.

Consistem na maioria em assentamentos precários e clandestinos, inclusive com uma série de cortes e aterros realizados sem acompanhamento técnico, ausência de drenagem pluvial artificial e drenagem natural comprometida pela construção de edificações em locais inadequados. Em alguns pontos foram identificados lançamentos de águas pluviais e até mesmo de águas servidas em locais totalmente inadequados. A situação é agravada pela proximidade e vulnerabilidade das moradias aos taludes de corte, pela situação de moradias obstruindo a passagem das águas pluviais, pela ausência de cobertura vegetal em alguns pontos e pela presença de vegetação inadequada em outros.

O resultado desta etapa foi uma Carta de Perigo à Deslizamento Planar da Área Urbana de Teófilo Otoni (Figura 5), com a delimitação dos polígonos das áreas de perigo rotuladas quanto ao seu grau.

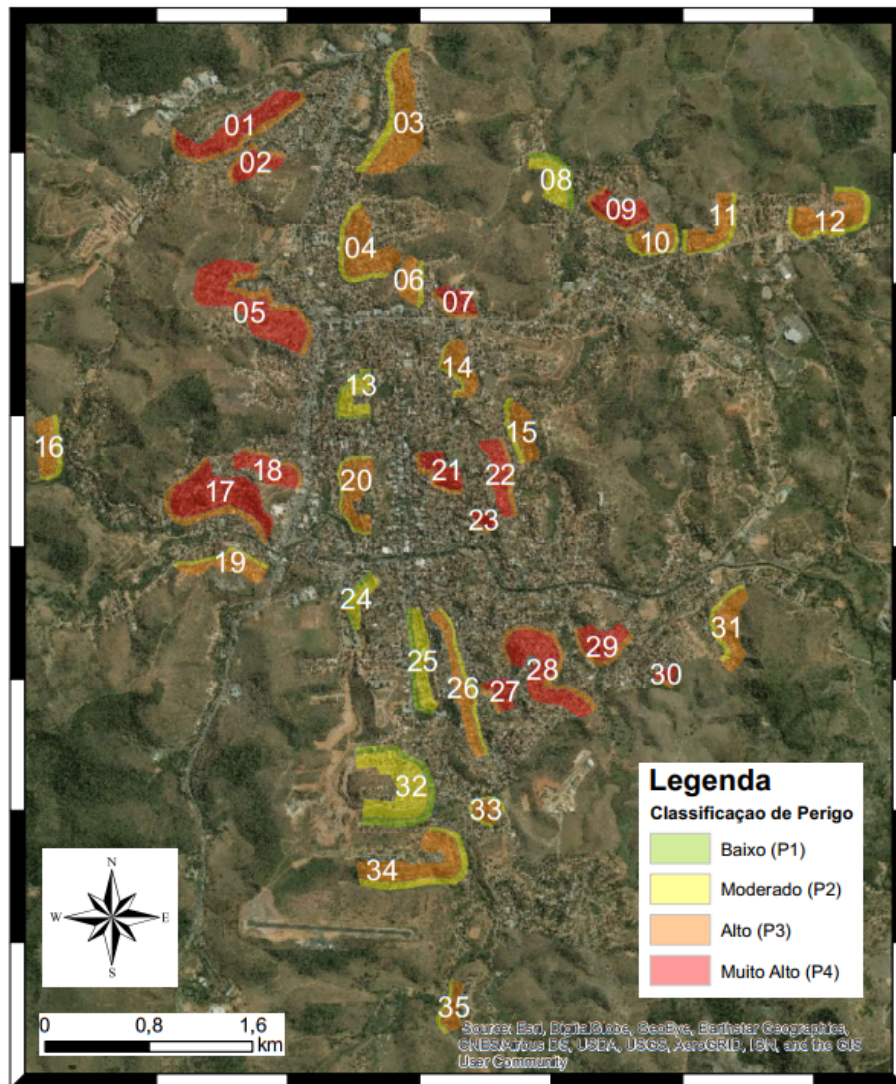


Figura 5 -
Carta de Perigo a deslizamento planar da área urbana de Teófilo Otoni.
Fonte: Autoria Própria, 2019.

A qualificação de risco, que analisa a vulnerabilidade no interior de algumas das áreas delimitadas e qualificadas quanto ao grau de perigo (produto final da etapa anterior), abrangeu apenas as áreas presentes em três bairros: São Cristóvão, Altino Barbosa e Vila São João. A ação antrópica como principal sujeito modificador do ambiente, aliado às características geotécnicas, geológicas e geomorfológicas desfavoráveis à ocupação, condicionou a escolha dos mesmos, embasada pelo fato de serem bairros com maior ocorrência de setores de perigo classificados como de Alto e Muito Alto Risco dentro da área de estudo.

Os produtos finais do levantamento são as Cartas de Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa dos bairros relacionados, apresentando as edificações presentes nos bairros e o grau de risco associado, de forma a contribuir na compreensão da distribuição geográfica dos pontos de risco, indicando as áreas mais críticas.

A Figura 6 apresenta os setores de perigo a deslizamento planar 01 e 02, localizados no Bairro São Cristóvão e Viriato, ambos classificados como de Perigo Muito Alto.

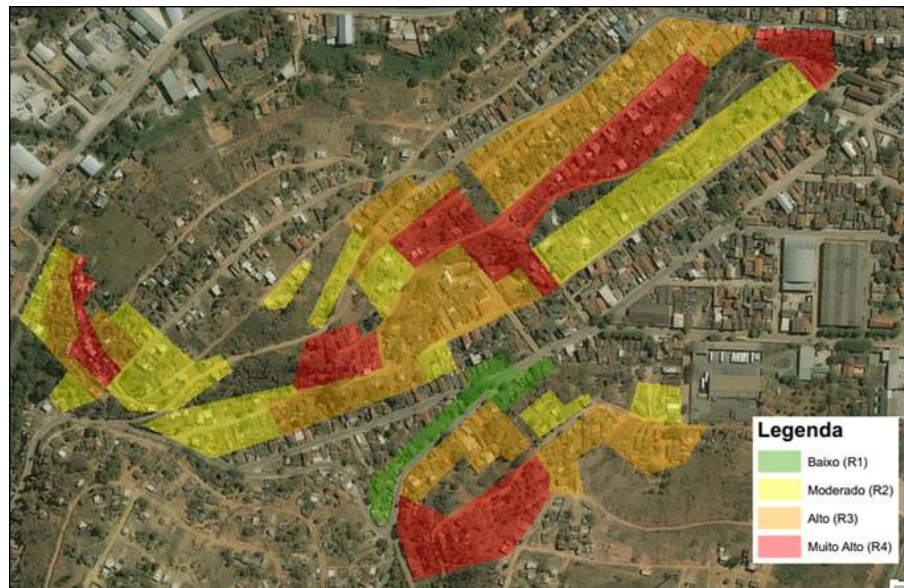


Figura 6 -
Carta de Risco a deslizamento planar do Bairro São Cristóvão.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

As edificações que apresentam maior vulnerabilidade neste bairro, classificados como de Risco Muito Alto, estão localizadas nas partes mais altas, em regiões com maior declividade, onde as moradias estão dispostas muito próximas aos desníveis, compostos por superfícies sem cobertura vegetal e ausência de estruturas de contenção necessárias a este tipo de ocupação. Algumas das áreas no topo das encostas apresentam condições semelhantes, sendo qualificadas como de Risco Alto principalmente por apresentarem declividades menos acentuadas.

A figura 7 apresenta os setores de perigo a deslizamento planar 21, 22 e 23, localizados no Bairro Altino Barbosa, todos classificados como de Perigo Muito Alto.



Figura 7 -
Carta de Risco a deslizamento planar do Bairro Altino Barbosa. 23
Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os setores 21 e 23 apresentam edificações instaladas de forma precárias, sem a devida infraestrutura, alojadas em meio a vertentes com declividade acentuada através de cortes e aterros inapropriados, localizadas quando não muito próximo à crista do talude, na região intermediária, resultando em grande vulnerabilidade e classificadas como de Risco Muito Alto. Trata-se de regiões densamente povoadas, com ocupação impulsionada pela proximidade do centro da cidade. A inexistência de estruturas de contenção necessárias a este tipo de ocupação e o sistema construtivo precário inerente à maioria das moradias acentuam o risco.

Com relação ao setor 22, a classificação de Risco Muito Alto de algumas edificações se devem principalmente à declividade acentuada e pela presença de indícios falta de estabilidade, tornando as mesmas mais vulneráveis, apesar de apresentarem sistemas construtivos mais confiáveis e aparentemente mais resistentes aos efeitos de materiais mobilizados.

A figura 8 apresenta os setores de perigo a deslizamento planar 29, 30 e 31, localizados no Bairro Vila São João, onde os dois primeiros foram qualificados como de Perigo Muito Alto e o último como de Perigo Alto.



Figura 8 -
Carta de Risco a deslizamento planar do Bairro Vila São João.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os setores 29 e 30 apresentam edificações localizadas em meio a vertentes com declividade e amplitude acentuadas, com presença de cortes e aterros inadequados, instaladas muito próximas aos desníveis, tornando-as vulneráveis e classificadas como de Risco Muito Alto. A falta de estruturas de contenção tecnicamente aceitáveis e o sistema construtivo precário de algumas das moradias aumentam o risco.

O setor 31 apresenta parte das edificações qualificadas como de Risco Alto devido às mesmas estarem instaladas em vertentes de declividade e amplitude acentuadas, com presença de desníveis produzidos por cortes em 90°, sem sistemas adequados de drenagem e contenção, instaladas muito próximas ao pé e à crista dos taludes, acentuando a vulnerabilidade das mesmas, apesar de serem ocupações mais recentes e com sistemas construtivos aparentemente mais confiáveis, portanto com maior resistência aos efeitos de materiais mobilizados.

Pode se observar que nos três bairros analisados, na grande maioria das vezes, as áreas de risco são ocupadas por uma população de menor poder aquisitivo, geralmente em áreas de periferia ou áreas menos nobres próximo ao centro da cidade.

Neste cenário predomina um somatório de edificações precárias, exibindo moradias com menor capacidade de suportar o impacto dos materiais mobilizados quando da ocorrência de movimentos de massas, e instalação das mesmas em locais inadequados com relação à encosta, constantemente atuando de maneira a ampliar a probabilidade de atingimento de moradias pela mobilização de materiais. Aliado a estas condições, a presença de execução de obras de corte e aterro sem obras de contenção e ausência de infraestrutura de drenagem de águas pluviais, pavimentação e saneamento básico, resultam em um panorama de alteração das condições de equilíbrio do meio e conseqüente acréscimo no grau ocorrência dos fenômenos de deslizamento planar.

5. Considerações finais

A partir da elaboração deste trabalho, conclui-se que a utilização de tecnologias de geoprocessamento, baseado em bases cartográficas em bancos de dados abertos, assim como a possibilidade de consulta a imagens de satélite, proporcionou o mapeamento de áreas de risco em áreas urbanas.

Neste contexto, foi possível identificar e classificar as áreas de risco geológico sujeitas a deslizamento planar localizadas dentro da área urbana de Teófilo Otoni. Foram identificadas trinta e cinco áreas de perigo, sendo cinco delas consideradas de perigo moderado, dezesseis de perigo alto e quatorze de perigo muito alto, sendo possível a confecção de uma Carta de Perigo à Deslizamento Planar da Área Urbana de Teófilo Otoni.

Dos setores de perigo identificados, foram detalhadas as áreas de risco inseridas nos mesmos de três bairros, sendo possível a elaboração de Cartas de Risco à Deslizamento Planar dos bairros: São Cristóvão, Altino Barbosa e Vila São João.

A manipulação dos dados em plataformas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) acabou por aperfeiçoar o levantamento de campo e a representação dos resultados, se demonstrando uma poderosa ferramenta para indicar áreas com restrições de ocupações.

A aplicação evidenciou a potencialidade de bases de informações, através de mapas, fotos aéreas e imagens de satélites, disponibilizadas por várias agências do governo juntamente com dados não espaciais, sendo a maior parte desses dados está disponível pronta para uso em formato digital para plataformas SIG.

Neste sentido, o estudo realizado ainda permite concluir que o desenvolvimento do mesmo serve como referência base para a aplicação em regiões com características semelhantes ao local de estudo, assim como para o desenvolvimento de novas metodologias de mapeamento e classificação de áreas de risco, com aplicação de tecnologias de geoprocessamento, suscetíveis aos demais tipos de movimentos gravitacionais.

Referências

- Assis, L. E. Avaliação Geológico-Geotécnica Em Áreas De Susceptibilidade A Movimentos De Massa Em Rio Piracicaba (Mg). Viçosa, Mg, 2017.
- Augusto Filho, O. Escorregamento Em Encostas Naturais E Ocupadas. Análise E Controle. In: O.Y Bitar (Ed) Curso De Geologia Ambiental. São Paulo, Abge/Ipt, 1995. 77- 100p.
- Barbosa, R. P. Avaliac#o De Risco E Impacto Ambiental. Sa#o Paulo: E#rica, 2014.
- Brasil. Ministério Das Cidades. Instituto De Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento De Risco Em Encostas E Margem De Rios. Brasília: Ministério Das Cidades; Ipt, 2007. 176p.

- Caixeta, P. R. C.; Pimenta, D. F. N.; Amaral, R. V.; Schaefer, C. E. Análise Multi-Critério (Mce) Aplicada Ao Mapeamento De Áreas Susceptíveis A Movimentos De Massas Na Área Urbana De Viçosa-Mg. Recife, 2012.
- Campos, L. C. Proposta De Reanálise Do Risco Geológico-Geotécnico De Escorregamentos Em Belo Horizonte – Mg. Ufmg - Escola De Engenharia. Belo Horizonte, 2011.
- Caputo, H. P. Mecânica Dos Solos E Suas Aplicações. 6º Ed. Rio De Janeiro: Ltc, 2008.
- Cprm. Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. Serviço Geológico Do Brasil. Projeto Leste: Folha Se24-V-Civ – Teófilo Otoni. Belo Horizonte: 1996.
- Cprm. Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. Serviço Geológico Do Brasil. Manual De Mapeamento De Perigo E Risco A Movimentos Gravitacionais De Massa. – Projeto Gides. Rio De Janeiro: Cprm/Sgb – Serviço Geológico Do Brasil, 2018.
- Dahal, R. K., Hasegawa, S.; Nonomura, S.; Yamanaka, M.; Masuda, T. Gis-Based Weights-Of-Evidence Modelling Of Rainfall-Induced Landslides In Small Catchments For Landslide Susceptibility Mapping. *Environmental Geology*: 2008.
- Gil, A. C. Como Elaborar Projetos De Pesquisa. 6ª Edição. São Paulo: Atlas, 2018.
- Guidicini, G.; Nieble C. M. Estabilidade De Taludes Naturais E De Escavação. São Paulo: Editora Blucher, 1983.
- Ibge. Instituto Brasileiro E Geografia E Estatística. Cidades. Disponível Em: <[Http://Www.Ibge.Gov.Br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso Em: 05 De Julho De 2018.
- Maciel Filho, C. L. Introdução À Geologia De Engenharia. 3 Ed. Santa Maria: Ufsm, 2008.
- Pinto, R. C. Identificação E Mapeamento De Áreas Suscetíveis A Movimentos De Massa Através Da Avaliação Multicritério Em Sistemas De Informações Geográficas – Análise Conceitual E Uma Proposta Metodológica. 213p. Ufpr. Curitiba, Paraná, 2015.
- Roque, L. A. Áreas De Risco Geológico-Geotecnico Associadas A Movimentos De Massa No Núcleo Urbano De Viçosa-Mg. Viçosa, Mg, 2013.
- Saito, S.M.; Soriano, E.; Londe. L. De R.; Desastres Naturais / Sensoriamento Remoto Para Desastres. São Paulo: Oficina De Textos, 2015.
- Sá Júnior, A. Aplicação Da Classificação De Köppen Para O Zoneamento Climático Do Estado De Minas Gerais. Lavras: Ufla, 2009.
- Sampaio T. Q.; Pimentel, J.; Silva, C. R.; Moreira, H. F. A Atuação Do Serviço Geológico Do Brasil Na Gestão De Riscos E Resposta A Desastres Naturais. Brasília: 2013.
- Santos, H. G. Dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. Dos; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B. De; Coelho, M. R.; Lumbreras, J. F.; Cunha, T. J. F. (Ed.). Sistema Brasileiro De Classificação De Solos. Rio De Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- Santos, P. R. C. Análise Dos Solos: Formação E Conservação Do Meio Ambiente. 1º Edição. Sa#o Paulo: E#rica, 2014.
- Siagas. Sistema De Informação De Águas Subterrâneas. Disponível Em: <[Http://Siagasweb.Cprm.Gov.Br](http://siagasweb.cprm.gov.br)>. Acesso Em: 10 De Dezembro De 2018.

- Silva, T. Q. *Análise De Risco Geológico-Geotécnico Em Áreas Sujeitas A Movimentos De Massa*. Viçosa, Mg, 2016.
- Souza, L. A. *Cartografia Geoambiental E Cartografia Geotécnica Progressiva Em Diferentes Escalas: Aplicação Na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Do Carmo, Municípios De Ouro Preto E Mariana, Minas Gerais*. 456p. Ufop. Ouro Preto, 2015.
- Teófilo Otoni (Mg). *Plano Diretor Do Município De Teófilo Otoni*. Lei 5892 De 2008. Câmara Municipal De Teófilo Otoni, 2008.
- Tominaga, L. K. *Avaliação De Metodologias De Análise De Risco A Escorregamentos: Aplicação De Um Ensaio Em Ubatuba, Sp*. Departamento De Geografia Da Faculdade De Filosofia, Letras E Ciências Humanas Da Universidade De São Paulo. São Paulo: 2007.
- Tominaga, L. K.; Santoro, J.; Amaral, R. *Desastres Naturais: Conhecer Para Prevenir*. 3 Ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015.
- Torres, F. T. P.; Marques Neto, R.; Menezes, S. O. *Introdução A# Geomorfologia*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- Wicander, R.; Monroe, J.; Carneiro, M. A. *Geologia*. São Paulo, Sp: Cengage Learning, 2017.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Hamilton Costa Júnior – 60%
Stênio Cavalier Cabral – 40%