

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS GRATUITAS DE SENSORES REMOTOS PARA ANÁLISE DE RISCOS DE MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO ALVARENGA, SÃO BERNARDO DO CAMPO, SÃO PAULO

USE OF REMOTE SENSORS FREE IMAGES FOR ANALYSIS OF MASS MOVEMENTS RISK IN
ALVARENGA STREAM BASIN, SÃO BERNARDO DO CAMPO, SÃO PAULO

DANIELLE BLAZYS CORREA

Universidade Federal do ABC; Santo André, São Paulo, Brasil, danielle.blazys@aluno.ufabc.edu.br

KÁTIA CANIL

Universidade Federal do ABC; Santo André, São Paulo, Brasil, katia.canil@ufabc.edu.br

RESUMO ABSTRACT

Esse artigo apresenta uma discussão sobre potenciais contribuições do uso de imagens de satélite gratuitas para o Brasil, sendo eles o *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4* para análise de risco de movimentos de massa a partir de alvos de interesse sobre a superfície analisada. Esses alvos de interesse corresponderam a cicatrizes de deslizamentos, fluxos concentrados de água, vegetação e padrões urbanos de ocupação. A avaliação deu-se a partir da comparação e fotointerpretação de composições coloridas nos canais RGB com bandas do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético, em escala variável entre 1:2.000 e 1:80.000, tendo a bacia do córrego Alvarenga, em São Bernardo do Campo- SP como área de estudo. No contexto do risco dos movimentos gravitacionais de massa, conclui-se que a aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto possui contribuições indiretas e relativas. Dentre os três satélites investigados, os de maior resolução espacial (*CBERS-4* e *Sentinel-2*) forneceram melhores resultados, bem como as composições com bandas no infravermelho, nos quais destacam-se as contribuições para reconhecimentos preliminares do território na construção de cartas geotécnicas e na mudança de uso e cobertura de solo com alterações a partir de 40 metros de extensão. A gratuidade de acesso aos dados e registros

This paper presents the potential contributions in using free satellite images available for Brazilian territory, namely *Landsat-8*, *Sentinel-2* and *CBERS-4*, for risk assessment of mass movements from established targets of interest on the surface. These targets of interest correspond to landslide scars, concentrated water flows, vegetation and urban occupation patterns and dynamics. The evaluation was based on the comparison and photointerpretation of colored compositions in the RGB channels with bands in visible and infrared electromagnetic spectrum, on a variable scale between 1:2.000 and 1: 80,000, considering the Alvarenga stream basin in São Bernardo do Campo- SP as the study area. In the context of the risk of mass gravitational movements, it is concluded that the application of remote sensing technology has indirect and relative contributions. Among the three satellites investigated, the ones with higher spatial resolution (*CBERS-4* and *Sentinel-2*) provided better results, as well as the compositions with bands in the infrared, in which contributions to territory preliminary recognition for construction of geotechnical charts stand out and in the change of use and land cover with changes from 40 meters. The free access to data and systemic historical records of the territory and the

históricos sistêmicos do território e a possibilidade de combinação de bandas multiespectrais de regiões do espectro eletromagnético fora da faixa do visível são atributos relevantes dessa tecnologia.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Imagens de satélite, Riscos, Movimento de Massa, Bacia do córrego Alvarenga.

possibility of combining multispectral bands of regions of the electromagnetic spectrum outside the visible range are relevant attributes of this technology.

Keywords: Remote Sensing, Satellite images, Risks, mass movement; Alvarenga watershed.

1 INTRODUÇÃO

Para Cardona et al (2010), o risco de um desastre possui um aspecto contínuo, enquanto o desastre é um de seus muitos “momentos” ou “manifestações”, o produto concreto das interações complexas entre o mundo físico, os ambientes naturais e artificiais, o funcionamento e o desenvolvimento das sociedades humanas. O risco é considerado como o passo anterior ao desastre, uma abstração e possibilidade ou probabilidade menor que 100% de algo negativo percebido, sendo essa percepção também responsável por influenciar o comportamento social de quem com ele convive (Veyert, 2007).

Os movimentos gravitacionais de massa, que por milhares de anos remodelam a superfície do planeta, tornam-se desastres quando tal processo geológico do meio físico interrompe abruptamente o funcionamento normal de uma comunidade, onde o ser humano perde a capacidade de resistir às forças determinadas pelo processo (Di Gregorio; Saito; Sausen, 2015; Warner, 2018). As interrupções impostas podem ocorrer direta ou indiretamente sobre as vidas e saúde dos membros expostos daquela comunidade, seus meios de subsistências e/ou fluxos. Quando ocorrem com frequência, colocam à prova a capacidade de recuperação dessa comunidade, podendo necessitar de assistências externas (Cardona, 2007; UN, 2016).

De acordo com dados coletados entre 1991 a 2010 pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, houve um expressivo aumento nos registros de eventos geológicos, bem como no protagonismo dessa tipologia de desastres como causa fatal no território brasileiro, além de perdas socioambientais e econômicas. O atlas aponta os movimentos

de massa como responsáveis por 15,6% de mortes de desastres registradas no período, atrás apenas dos eventos de enxurrada (58%) A nível global esse crescimento também é observado: com base em dados analisados entre 1980 e 2016, Coutinho e Ramos (2018), indicam o aumento de mais de 150% na ocorrência dos movimentos de massa, estando estes vinculados às maiores frequências de ocorrência de variadas tipologias de eventos extremos. Cenários futuros indicando altas probabilidades no aumento de frequência desses eventos foram apontadas no quinto relatório do IPCC (AR5, 2014).

No entanto, é possível e necessário se antecipar quanto a consolidação dos desastres de movimentos de massa a partir do reconhecimento de seus componentes, suas inter-relações e padrões, de forma a orientar tomadas de decisão referentes às dinâmicas de uso e cobertura do solo e diminuindo o risco de desastres por meio da governança. Abordagens holísticas e multidisciplinares de avaliação de riscos de movimentos de massa permitem afirmar que os componentes, elementos causadores e impactados dos riscos de desastres não se distribuem uniformemente no espaço e tampouco nos grupos sociais e que são sintomas de problemas de desenvolvimento ainda não resolvidos (Nogueira, 2002; Veyret, 2007; UNISDR, 2018; IPCC, 2018; Jacobi e Sulaiman, 2018). Considerando o território como elemento central de gestão dos riscos, a análise e monitoramento dos componentes e sua respectiva representação cartográfica é uma das linhas básicas de ação do poder público no tema (Colômbia, 2010; Galera, 2016)

Os desastres ou o grau de risco de desastres, incluídos os movimentos de massa, interagem, portanto com as condições de vulnerabilidade

(que corresponde à exposição ao processo e à capacidade de enfrentamento pelo acesso à múltiplos recursos), ocasionando danos com diferentes graus de intensidade. Ameaça é o processo, fenômeno ou atividade humana que pode ocasionar danos na vida, na saúde humana, aos bens ambientais ou materiais, na organização social e econômica. Ela é caracterizada pelos atributos de localização, intervalo de tempo, intensidade, frequência e probabilidade, podendo ser combinada em suas origens. Têm-se então que a interação entre os componentes constituintes de uma ameaça também pode potencializar a magnitude final do risco juntamente com os componentes de vulnerabilidade. Dessa combinação forma-se uma complexa e extensa gama de cenários de desastres possíveis (Cardona et al, 2010; Sausen e Lacruz, 2015; UN, 2016). Para Cardona (2007), existem aspectos da vulnerabilidade dependentes da ameaça e outros que não, mas agravam a situação. Nogueira (2002), afirma que o gerenciamento do risco pode melhorar os aspectos da vulnerabilidade, reduzindo, por consequência, a magnitude do risco.

A qualificação do risco de desastre “natural”, como usualmente o risco de movimentos de massa é classificado, indica apenas que a força motriz desencadeante ou o meio de onde provém o processo corresponde a um ou mais dos seguintes componentes: geológico, hidrológico, meteorológico, climático, sejam eles induzidos ou não (Augusto Filho e Cerri, 1990; Sausen e Lacruz, 2015; Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008; Jacobi e Sulaiman, 2018). Há ainda certa dificuldade (ou negação) em compreender o desastre como resultado de uma construção social, econômica e política, e não somente como um evento natural (Canil e Nogueira, 2018). Veyret (2007), indica que no contexto dos riscos, o homem pode desempenhar um papel dual: vítima e agressor do ambiente.

A Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) divide os movimentos gravitacionais de massa em quedas, tombamentos e rolamentos de blocos, deslizamentos, corridas de massa e subsidência e colapso. Lopes e Arruda Junior (2015) somam a tipologia de rastejos dentre os movimentos de massa. Cerri (1993), Wold e Jochim (1989) Apud Nogueira (2002), indicam que o uso do termo escorregamento e processos correlatos costumam

também ser usados de forma genérica para uma ampla variedade de processos, envolvendo o conjunto de movimentos gravitacionais de massa. Infanti e Fornasari Filho (1998), Wold e Jochim (1989) Apud Nogueira (2002), abordam que deslizamento especificamente consiste no movimento descendente e rápido de volume de solo, vegetação ou rocha geralmente bem definido, cujo centro de gravidade desloca-se para baixo e para fora de um talude, seja ele natural, de corte ou de aterro, enquanto os rastejos, por exemplo, caracterizam-se por velocidades de deslocamento mais baixas. Nogueira (2002), adiciona que no caso dos deslizamentos urbanos, também podem ser movimentados depósitos artificiais (lixo, aterros, entulhos) ou materiais mistos.

As causas e agentes de movimentos de massa podem atuar de formas internas (com a redução da resistência interna do material), externas (aumento da tensão de cisalhamento, associadas a sobrecargas e vibrações) e intermediárias (efeitos no interior do talude como liquefação espontânea, rebaixamento rápido do nível do lençol freático e erosão remontante). Os agentes dividem-se em predisponentes (fatores naturais intrínsecos às condições geológicas, pedológicas, geométricas e ambientais, excluindo-se ações antrópicas) e efetivos (elemento diretamente responsáveis pela deflagração dos movimentos, como chuvas, fluxos concentrados de água, vibrações) sendo este classificado em preparatórios ou imediatos (Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008; Lopes e Arruda Junior, 2015).

Nogueira (2002) e Farah (2003), indicam relações entre os processos de instabilização com as formas de ocupação urbana as quais podem intensificar instabilizações predisponentes no terreno ou induzir novas situações. Como exemplo das ações antrópicas nos processos de ocupação com possíveis efeitos na estabilidade do meio físico são considerados o desmatamento e retirada de cobertura vegetal, criação de novos caminhos preferenciais e concentrações de águas pluviais ou servidas, vazamentos e infiltração subsuperficial de redes de abastecimento ou de esgoto, presença de fossas, criação de depósitos de tálus, execução de cortes expondo solos susceptíveis ao fenômeno e aterros não compactados em geometrias inadequadas, deposições de lixo e entulho. Ainda

podem ser adicionadas as vibrações produzidas por tráfegos pesados, explosões, etc. (Nogueira, 2002; Farah, 2003). A metodologia de elaboração dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMMRs) estabelecida pelo extinto Ministério das Cidades (2006), por exemplo, possui caráter qualitativo de avaliação. A experiência dos técnicos encarregados da análise é considerada para estimar a probabilidade da consolidação dos processos e potenciais consequências danosas e indicadores de instabilidade (trincas, estruturas inclinadas, cicatrizes de processos), suscetibilidade do terreno aos processos geodinâmicos, registros de ocorrências prévias, possíveis consequências do acúmulo e energia das águas, condições de vulnerabilidade estrutural e social e a percepção dos moradores e técnicos locais são levados em consideração. E por fim, setores espacializados em escala de detalhe (no mínimo 1:2000), que considerando esses aspectos são classificados em graus de risco: R1 (baixo), R2 (médio), R3 (alto) e R4 (muito alto), o que implica na indicação de alternativas e prioridades de intervenção no setor.

Assim, locais com pré-disposições às instabilidades influenciados por precipitações intensas (causa imediata e deflagradora), como regiões serranas em clima tropical úmido, onde os intemperismos químico e bioquímico são mais intensos, concentram eventos de movimentos de massa (Molina, Cardoso, Nogueira, 2015; Lopes e Arruda Junior, 2015). No Brasil, destaca-se sua porção oriental, em especial nas regiões Sul e Sudeste, onde aflora o embasamento cristalino e o escudo atlântico, exemplificado pela formação da Serra do Mar. Essa porção recebe chuvas intensas e duradouras especialmente nos meses de entre novembro a março. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, entre 1991 e 2012, 93,6% das ocorrências de movimentos de massa ocorreram nessa porção. Vale mencionar que, em função de área atingida e frequência de ocorrência, esse desastre não é tão significativo se comparado às demais tipologias (Wolle e Carvalho, 1989 Apud CEPED-UFSC, 2013).

Para análise das componentes mencionadas e, portanto, dos riscos presentes numa localidade, o uso das ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser grandes aliadas na prevenção e mitigação de desastres no processo

de gerenciamento de riscos. O uso de dados de sensoriamento remoto obtido por satélites orbitais combinados com dados espaciais obtidos em campo ou com produtos de geoprocessamento, além de contribuir com a implantação de políticas públicas intersetoriais de forma eficaz, podem ser utilizados para democratizar o acesso à informação (Galera, 2018). As imagens de satélite registram dados da superfície terrestre de forma periódica e sistêmica, de regiões inclusive pouco acessíveis e carentes de dados geoespaciais. Apesar da crescente disponibilização das imagens de sensoriamento remoto de maneira gratuita e do grande potencial para estudo e monitoramento do ambiente terrestre, elas são ainda sub exploradas, onde nem 10% do seu potencial para gestão de desastres é utilizado (Florenzano, 2002; Sausen e Lacruz, 2015). Sausen e Lacruz (2015) apontam esse como um recurso técnico indispensável na investigação de escorregamentos.

Para adicionar um significado aos dados brutos que formam as imagens de sensoriamento remoto, é necessário interpretá-las. O uso de altas resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais, e escalas de trabalho adequadas tornam a identificação de alvos de interesse mais direta e fácil, com implicações nos custos de recursos computacionais necessários. Além disso, elementos básicos presentes em imagens, denominados elementos de fotointerpretação, devem ser considerados no processo de análise, de forma a ampliar a extração de informações dos objetos, áreas ou fenômenos. Correspondem aos elementos de fotointerpretação os aspectos de tonalidade/cor, textura/rugosidade, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização. Por exemplo, nas imagens em níveis de cinza, objetos mais próximos ao branco refletem mais luz, enquanto os próximos ao preto absorvem-na no devido ao processo de interação entre o material e a radiação eletromagnética da fonte luminosa. Da mesma forma, a cor dependerá da quantidade de energia refletida naquela banda ou intervalo espectral e da mistura entre cores em processo aditivo de bandas. O recurso de composição de bandas nos canais RGB é realizado com os dados de determinadas bandas dos satélites, tornando mais fácil interpretar imagens coloridas visto que o olho humano identifica cem vezes mais cores que os tons de cinza (Florenzano, 2002; Meneses e Almeida, 2012).

Assim, considera-se que as imagens de satélite possam contribuir no atendimento de, por exemplo, exigências estabelecidas pela Lei Federal nº 12.608/12, que dispõe sobre a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, incluindo a elaboração das Cartas Geotécnicas (de suscetibilidade, aptidão à urbanização e risco), obrigatórias para determinados municípios, e o monitoramento e atualização das áreas de risco. As cartas geotécnicas são representações gráficas e espaciais e instrumentos técnicos, voltados para a representação dos processos do meio físico (movimentos de massa, dinâmicas do uso do solo) e dos riscos e demandam atualizações periódicas. Elas reúnem ou são construídas a partir de uma série de informações geoespaciais que auxiliam na compreensão dos processos, no caso dessa pesquisa, dos movimentos de massa. São também usadas para subsidiar, por exemplo, a elaboração de planos de ação como os Planos Diretores Municipais – PDM; Planos Preventivos de Defesa Civil – PPDCs; e Planos Municipais de Redução de Riscos – PMRRs, destacando que o município de São Bernardo do Campo possui esses tipos de instrumentos.

Esse artigo tem como objetivo, portanto, levantar, analisar e discutir a contribuição do uso de imagens gratuitas de satélites do território brasileiro para o reconhecimento de alvos de interesse sobre a superfície terrestre que indicam situações potenciais para ocorrência de movimentos de massa, a partir da exposição desses elementos, a exemplo de: indícios pretéritos de movimento de solo como histórico de deslizamentos, concentração de fluxos de água superficial, presença de cobertura superficial de vegetação e dinâmicas urbanas de ocupação. Alguns outros importantes elementos indutores de riscos vinculados à geomorfologia, profundidade de solos e águas sub-superficiais exigem interpretações realizadas a partir de imagens oblíquas e/ou de análises sub-superficiais (Metternicht; Hurni; Gogu, 2005; Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008), e não serão consideradas devido à característica de ortogonalidade das imagens utilizadas. Assim, é reconhecido já de antemão que o método proposto tem suas limitações para identificação de determinados aspectos do meio físico.

Os satélites selecionados para avaliação de imagens neste trabalho corresponderam ao

CBERS-4, Landsat-8 e Sentinel-2, com bandas em regiões do visível e do infravermelho, de forma a acessar as maiores resoluções espaciais fornecidas pelos satélites e um maior detalhamento da heterogeneidade do ambiente urbano (Florenzano, 2002). Uma nova versão da série CBERS foi lançada em órbita após o início do trabalho, entretanto seus dados não se encontravam disponíveis em tempo hábil para inclusão nas análises até a realização da pesquisa. A sistematização de várias das especificações técnicas dos satélites trabalhados, incluindo os intervalos de cobertura do espectro eletromagnético por bandas, bem como de suas versões anteriores podem ser encontradas em Blazys (2020). A bacia do Córrego do Alvarenga no município de São Bernardo do Campo-SP foi utilizada como unidade territorial de análise e a escolha dos períodos de obtenção de imagens teve como ponto de partida os períodos com mais registros de deslizamentos na bacia, coincidentes com os meses de maiores precipitações no município.

1.1 A bacia do córrego Alvarenga

A bacia do córrego Alvarenga (Figura 1), localizada a noroeste do município de São Bernardo do Campo, é cortada pela rodovia dos Imigrantes e pelo trecho sul do rodoanel e possui área de 24,6 km². Seus limites de expansão refletem um padrão regional de autoconstrução em porções ambientalmente frágeis como encostas acidentadas nas proximidades da Serra do Mar e em áreas de mananciais, resultante de uma tendência espacial de expansão urbana com carências de infraestrutura (Denaldi et al, 2018; Maricato, 2015). Caracteriza-se por uso e cobertura do solo mistos, com porções residenciais de baixo a alto padrão construtivo (incluindo assentamentos precários e chácaras de veraneio), comércios e galpões de depósito, além de remanescentes de vegetação de Mata Atlântica. O trecho abaixo da cota 747 m da represa está inserido na Área de Proteção e Recuperação de Mananciais da Billings de acordo com a Lei nº 13579/09.

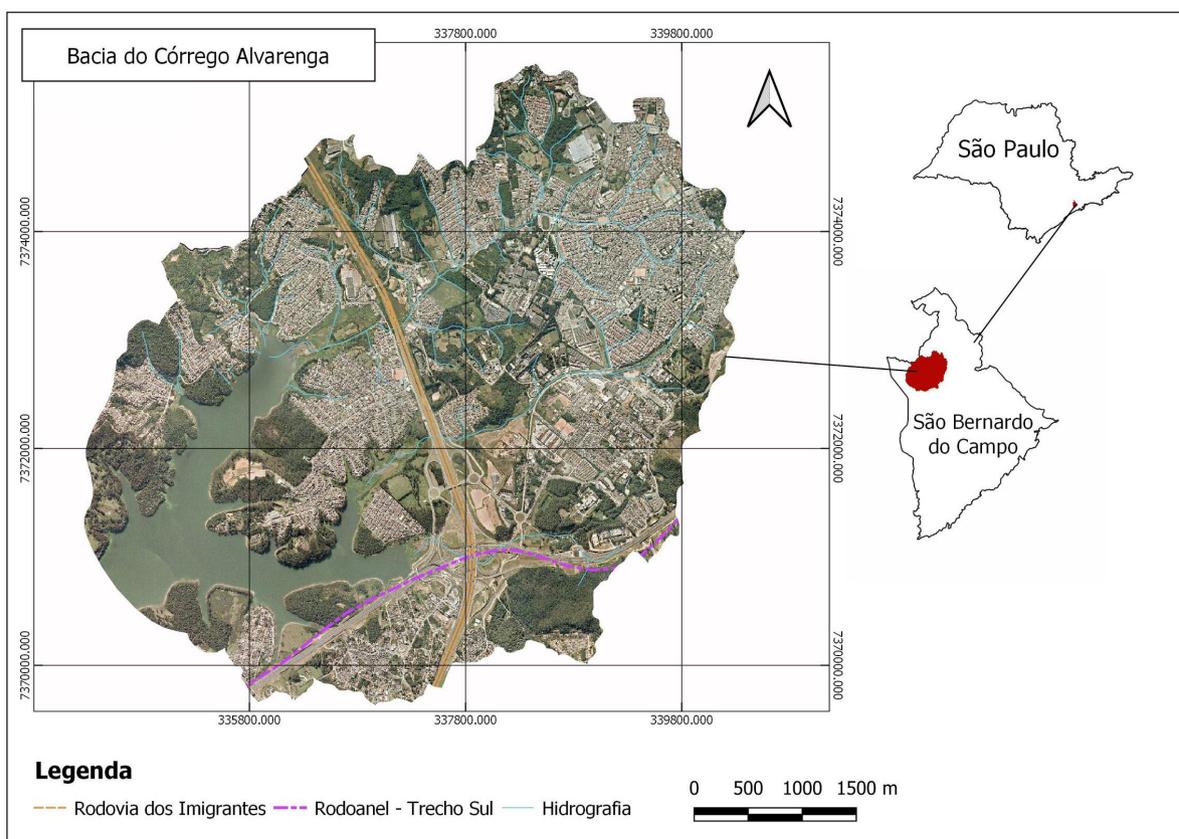


Figura 1. Localização da Bacia do Córrego Alvarenga, São Bernardo do Campo (Fonte: elaborado por Blazys, 2020. Dados extraídos de Laboratório de Gestão de Riscos - LabGRis UFABC 2020, IBGE, 2019, PMSBC, 2020)

De acordo com mapeamento realizado pela Secretaria de Habitação (SEHAB, 2010), a bacia do córrego Alvarenga é a região que mais concentra assentamentos informais no município, onde estão registrados cerca de 40 setores de riscos delimitados a partir da atualização do PMRR de 2015 (PMSBC, 2020). Parte deles sobrepõe-se a relevos de morrotes e morros com declividades superiores a 30°, sustentados por granitos alterados, migmatitos e gnaisses, consideradas áreas de média e alta suscetibilidade a processos geodinâmicos (deslizamentos), conforme a Carta Geotécnica de Suscetibilidade (IPT; CPRM, 2014). Dos registros de ocorrências de deslizamento, solapamento, alagamento e inundação, 70% estão relacionados aos deslizamentos com base nos dados entre 1997 e 2014 da Defesa Civil Municipal (PMSBC, 2020). É fato que, apesar da realização de uma série de instrumentos técnicos e ações voltadas ao gerenciamento de riscos de deslizamentos no município e, portanto, na bacia, que incluem as cartas geotécnicas, obras de contenção, dentre outros, as ocorrências de deslizamentos continuam ocorren-

do (Nogueira; Oliveira; Crus, 2014). Dessa forma, os esforços para prevenir e se antecipar a tal tipo de desastre merecem ser complementados e aprofundados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma série de dados espaciais foram levantados para as análises presentes nesse estudo, incluindo dados vetoriais e matriciais, além de registros de ocorrências da Defesa Civil Municipal, posteriormente tratados e especializados para a bacia com o complemento denominado MMQGIS. Dados vetoriais, para reconhecimento geral do território foram obtidas a partir das bases do IBGE (limites políticos), CPRM (Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade aos Processos do Meio Físico e de Aptidão à Urbanização), da PMSBC (zoneamento municipal), do LabGRis-UFABC (bacias hidrográficas, assentamentos precários, setores de risco, hidrografia, altimetria, declividade e curvas de nível de 5 m).

Os satélites selecionados que dispõem de imagens gratuitas correspondem ao CBERS-4, Landsat-8 e Sentinel-2. As imagens de satélite foram obtidas pelas plataformas de imagens de satélite site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) e do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>). Para a análise e processamento de dados espaciais, incluindo as imagens de satélite, foram utilizados os softwares Google Earth e QGIS com os complementos *QuickMap Services* e *MMQGIS*.

Para a identificação das contribuições das imagens de Satélite no reconhecimento de alvos de interesse que indicam a possibilidade de ocorrências futuras de processos do meio físico com vistas a contribuir com a gestão de riscos de movimentos de massa, definiu-se como critério a utilização de imagens gratuitas para o território brasileiro de satélites ativos e períodos de imageamento em função dos registros de deslizamentos da Defesa Civil de São Bernardo do Campo.

As ocorrências atendidas entre janeiro 2016 a outubro de 2019 contemplam 40 classes diferentes de ocorrências, sendo seis delas associadas às riscos de movimentos de massa, possíveis fatores de umidade indutores, riscos e processos consolidados. Em relação a essas seis classes, os anos de 2019 e 2016 foram os que somaram maior número de ocorrências, com 41 e 29 registros, respectivamente, seguindo o mesmo padrão do município (321 e 171 registros). Vale ressaltar que os dados de 2019 não incluíram os meses de novembro e dezembro, o que indica que 2019 pode ter apresentado um total de registros ainda maior. Ao longo dos meses do ano, os registros de tais ocorrências comportam-se de forma similar aos meses de maiores volumes pluviométricos: os meses entre janeiro e março apresentam maior número de registros de ocorrências que nos demais meses.

As ocorrências de deslizamentos somadas aos registros de risco desses processos, representaram 63% das seis classes na bacia; 18% e 16% referem-se, respectivamente, à infiltração de rede de água e infiltração de águas pluviais. Foram buscadas, portanto, imagens obtidas após 23 de março de

2019 (um dia após o último registro de março na bacia, no caso das imagens do ano de 2019) e após 01 de abril de 2016 (um dia após o último registro de março na bacia, no caso das imagens de 2016), livres de nuvens e pré-tratadas (ortorretificadas e com correção atmosférica) pelas instituições fornecedoras de imagens.

Como sistema de projeção padrão, foram estabelecidas as coordenadas UTM, no DATUM SIRGAS 2000, fuso 23S no processamento de dados. Foram realizados testes com as imagens de 2019 de criação de composições coloridas verdadeiras e falsa-cor, nas quais as bandas de máximas resoluções espaciais dos satélites foram consideradas e priorizadas. A testagem de composição de bandas é uma opção indicada por Meneses e Almeida (2012), uma vez que as possibilidades de combinações podem ser muitas a depender das quantidades de bandas fornecidas por um satélite. As diferenças de reflectância entre materiais indicados em curvas espectrais podem ser levados em consideração para escolha das bandas. Os critérios de descartes de alguns dos testes variaram entre colorações das composições muito destoantes das demais dos projetos de análise, baixo contraste entre alvos de interesse, deslocamento de bandas exigindo etapas adicionais de correção de imagens, resoluções espaciais inferiores a testes com composições de cores semelhantes, combinação adequada porém alcançada após a etapa de análises e sem tempo hábil para inclusão no estudo (mas que recomenda-se avaliações futuras). As composições descartadas podem ser visualizadas em Blazys (2020).

Na etapa de construção das composições de cor verdadeira, as imagens foram também fusionadas com as bandas PAN disponibilizadas pelos respectivos satélites. O processamento da imagem de 2016 foi feito apenas considerando as composições de 2019 que obtiveram melhor desempenho para a caracterização de alvos de interesse: indícios pretéritos de movimento de solo como histórico de deslizamentos, concentração de fluxos de água superficial, presença de cobertura superficial de vegetação e dinâmicas urbanas de ocupação, vinculados aos materiais de solo exposto, água, vegetação e concreto e cimento, respectivamente. Como técnica de realce de imagens, foi realizada a expansão ou ampliação histográfica de contraste.

As análises das imagens ocorreram em escala variável entre 1:2.000 e 1.80.000 pela comparação visual simultânea a cada 4 ou 3 imagens agrupadas em 4 diferentes lotes de interpretação, denominados como projetos. Os projetos comparados deveriam apresentar composições coloridas com características semelhantes entre si quanto às respostas espectrais dos materiais dos alvos, visualmente perceptíveis pelos padrões de cor que as composições retornassem. Além da cor, outros elementos de fotointerpretação (localização, forma, textura, padrão e contexto) foram considerados para extração de mais informações de cada um dos 4 tipos de alvos, vinculados aos processos e dinâmicas no território, relacionando-as às circunstâncias de riscos de movimentos de massa. Assim foi verificado como cada alvo pode ser reconhecidos nos dados gratuitos fornecidos por diferentes satélites.

Camadas de dados vetoriais para apoio e validação na interpretação foram utilizadas durante as análises sendo eles de hidrografia, limites de bacia, atendimentos da defesa civil para deslizamentos entre janeiro e março dos anos de 2019 e 2016. Imagens fornecidas pelo *Google Earth* também foram utilizadas. Foram obtidas amostras de referência nas escalas de 1:16.000 (para águas e ambientes urbanos) e 1:4.000 (para amostras dos demais materiais) para validação e redução de subjetividade das conclusões da análise interpretativa de imagens. Nesse trabalho são apresentadas apenas parte das amostras, visto que a totalidade delas foram apresentadas na pesquisa de Blazys (2020). Alguns outros elementos referentes a forma do terreno, relevantes na avaliação

de riscos, como relevo, geomorfologia e tipologia de solos, não serão considerados, uma vez que o estudo pretende observar as potencialidades dos sensores ópticos em condições de ortogonalidade na identificação de alvos de interesse, e tais elementos, devem ser analisados com informações tridimensionais e oblíquas, como os produtos gerados por radar, ou com resoluções espectrais e espaciais de sensores superiores aos disponíveis gratuitamente (Florenzano, 2002, Metternicht; Hurni; Gogu, 2005; Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definidos os critérios para *download* de imagens, os satélites então selecionados para avaliação de imagens corresponderam ao CBERS-4, Landsat-8 e Sentinel-2. As informações das imagens mais próximas ao dia 23/03/2019 (data do último registro de deslizamento na bacia do Alvarenga no mês de interesse) com menor cobertura de nuvens e com os níveis mais elevados de pré-processamento por parte da instituição fornecedora da imagem encontram-se na tabela 1. Além das informações por satélite referentes às datas de coleta de imagens e níveis de pré-processamento aplicados, também são indicadas as bandas das composições coloridas testadas e selecionadas e descartadas em cada projeto, ou, em cada lote de interpretação e comparação das imagens. As resoluções espaciais de cada banda utilizada também se encontram na tabela 1.

Tabela 1: Relação de informações referentes ao download de imagens e composições realizadas em cada projeto, sendo as selecionadas apresentadas com fundo cinza (Fonte: elaborado por Blazys, 2020. Dados extraídos de NASA, INPE, ESA)

Satélite	Data da Imagem	Nível de pré processamento	Projeto 1			Projeto 2			Projeto 3			Projeto 4					
			Cor Verdadeira			Falsa Cor 1			Falsa Cor 2			Falsa Cor 3					
			R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B			
Landsat-8	26/03/2019	L1TP	4	3	2	5	4	3	6	5	4	5	6	4			
			30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m			
										4	5	2	5	2	6		
										30m	30m	30m	30m	30m	30m		
										4	5	3	7	6	4		
										30m	30m	30m	30m	30m	30m		
Cbers-4	25/03/2019	L4				3	4	2	4	3	2	3	4	2	4	1	2
						10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	5m	10m
						7	6	5	8	7	6	4	1	2	4	1	3
						20m	20m	20m	20m	20m	20m	10m	5m	10m	10m	5m	10m
						3	2	1	1	4	3	4	1	3	8	10	4
						10m	10m	5m	5m	10m	10m	10m	5m	10m	20m	40m	10m
Sentinel-2	23/03/2019	L1C				3	2	5	1	3	2			1	10	4	
						10m	10m	20m	5m	10m	10m			5m	40m	10m	
						4	3	2	8	4	3	4	8	3	8	8a	4
						10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	20m	10m
												6	8a	3	12	11	4
												10m	20m	10m	20m	20m	10m
									5	7	3	12	4	2			
									20m	20m	10m	20m	10m	10m			

Conforme a tabela 1, a primeira imagem disponível correspondeu à do Sentinel-2, que também apresenta a maior resolução temporal em relação aos demais satélites, beneficiando a precisão na detecção temporal de alterações da superfície terrestre. Quanto ao nível de pré-processamento, apenas as imagens CBERS-4 não passaram por processamento de ortorretificação digital antes de serem disponibilizadas na respectiva base de imagens. Os agrupamentos das composições coloridas geradas e selecionadas são apresentados de maneira heterogênea em termos de quantidade, uma vez que a seleção dos testes não se deu de maneira linear e os agrupamentos dos projetos se construíram na ordem que determinadas composições puderam ser atingidas pelos testes. Dessa maneira, por exemplo, o projeto 4 comparou imagens de dois e não dos três satélites, sendo des-

considerados os testes obtidos pelas imagens do Sentinel-2: a composição colorida compatível com as demais do projeto não havia sido alcançada naquele momento. A composição cor-verdadeira para a imagem CBERS-4 não foi alcançada na resolução de 10 metros, máxima resolução desse satélite no intervalo do visível. Uma das composições CBERS-4 alcançadas no projeto 1 foi aproveitada para o projeto 3. A limitação da geração de composição cor verdadeira pelo CBERS-4 se deve ao fato de que, na resolução de 10 metros (sua máxima resolução), o satélite não fornece bandas com o comprimento de onda azul. As composições descartadas podem ser visualizadas em Blazys (2020).

A fusão de imagens com bandas pancromáticas de maior resolução espacial foi realizado apenas para composições alcançadas no projeto 1

nos satélites Landsat-8 e CBERS-4, uma vez que o Sentinel-2 não apresenta banda PAN de maior resolução espacial do que as bandas já consideradas para o visível e ainda que o CBERS-4 tenha gerado apenas composição falsa cor na resolução de 10 metros. No projeto 2, onde a vegetação foi representada pela coloração vermelha, em todas as composições o canal R de *red* foram ocupadas por bandas no infravermelho-próximo (NIR), o G (*green*) por bandas da faixa do vermelho e o B (*blue*), por bandas do verde. Já no projeto 3, as imagens Sentinel-2 e CBERS-4 foram compostas por bandas do vermelho no canal R, infravermelho no canal G e verde no B. No momento inicial dos testes, para o Landsat-8, o mais próximo que se gerou da coloração predominante foi usando as bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), NIR e vermelho, respectivamente nos canais R, G e B. Para o projeto 4, foi escolhido um dos testes descartados do projeto anterior (CBERS-4, 4-1-2), e uma composição próxima foi obtida para as imagens Landsat-8, com a banda do SWIR no canal G no lugar da PAN, usada na composição CBERS-4. Como já dito previamente, essa tonalidade não foi alcançada para imagens Sentinel-2.

De 32 composições geradas com as imagens de março de 2019, apenas 12 foram selecionadas para avançarem na etapa seguinte de fotointerpretação dos elementos de cobertura do solo que podem contribuir em análises de risco, sendo duas delas as fusionadas com as bandas pancromáticas fornecidas pelos respectivos satélites. Antes de apresentar os resultados referentes aos alvos de interesse, vale apontar que as composições colori-

das Sentinel-2 selecionadas resultaram em arquivos mais pesados, com cerca de 0,7 GB da cena sem recortes, enquanto o Landsat-8 e CBERS-4 geraram arquivos entre 0,3 e 0,4 GB. Os ângulos de visada (FOV) cobrem extensões territoriais de 290, 185 e 60 quilômetros, e resoluções de 10, 30 e 10 metros, respectivamente. Essas diferenças devem ser consideradas a depender da área total de interesse, da capacidade de processamento em termos de tempo, recursos tecnológicos e humanos e dos tamanhos mínimos dos alvos de interesse. A fusão com as bandas PAN resultou na imagem Landsat-8 um produto de 15 metros de resolução e na CBERS-4, de 5 metros, em arquivos de tamanhos de 2 e 5GB respectivamente, de cenas também não recortadas. Maiores detalhes de FOV e tamanhos das composições descartadas podem ser encontradas em Blazys (2020).

As figuras 2 a 4 apresentam algumas amostras das composições coloridas geradas e selecionadas para os projetos de 1 a 4, onde alguns elementos podem ser observados de forma geral, como os tons e texturas retornados pela vegetação, por materiais de ambiente construído, formas e padrões urbanos (ruas, quarteirões, adensamento de assentamentos). Na figura 2, as amostras apresentam 5 dos 17 pontos de ocorrências de deslizamento espacializados, obtidos a partir dos dados de atendimentos registrados pela defesa civil, referentes ao período entre janeiro e março de 2019. Um polígono delimita uma mancha escura nas proximidades das ocorrências perceptível em apenas algumas das imagens.

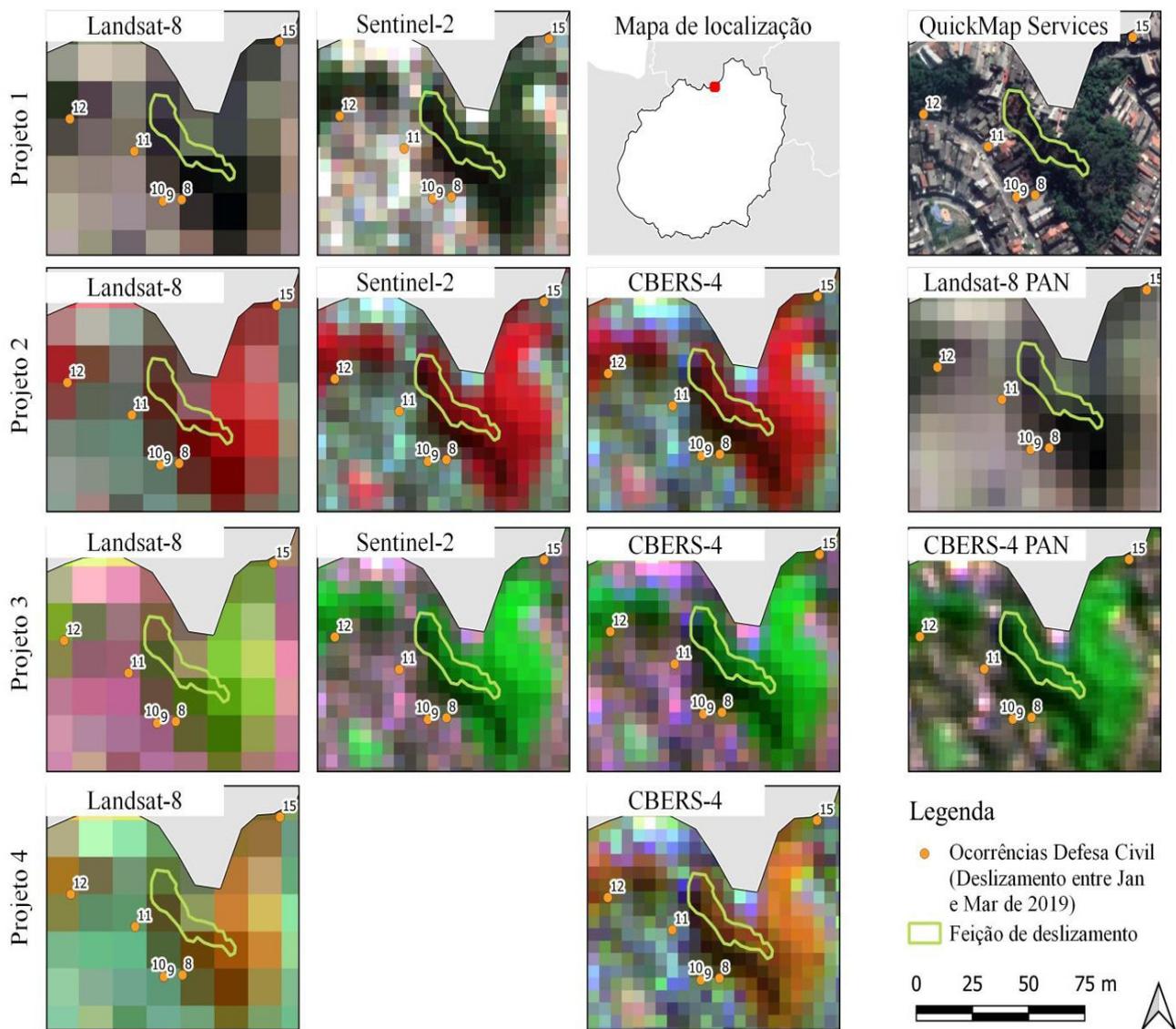


Figura 2. Amostras das composições coloridas geradas e selecionadas para os projetos 1 a 4, evidenciando observações próximas às ocorrências de deslizamento registradas pela Defesa Civil Municipal.

A figura 3 apresenta amostras com limites definidos de solo exposto e de um material construtivo, um telhado metálico, enquanto a figura

4, em menor escala, contempla porções úmidas e padrões urbanos.

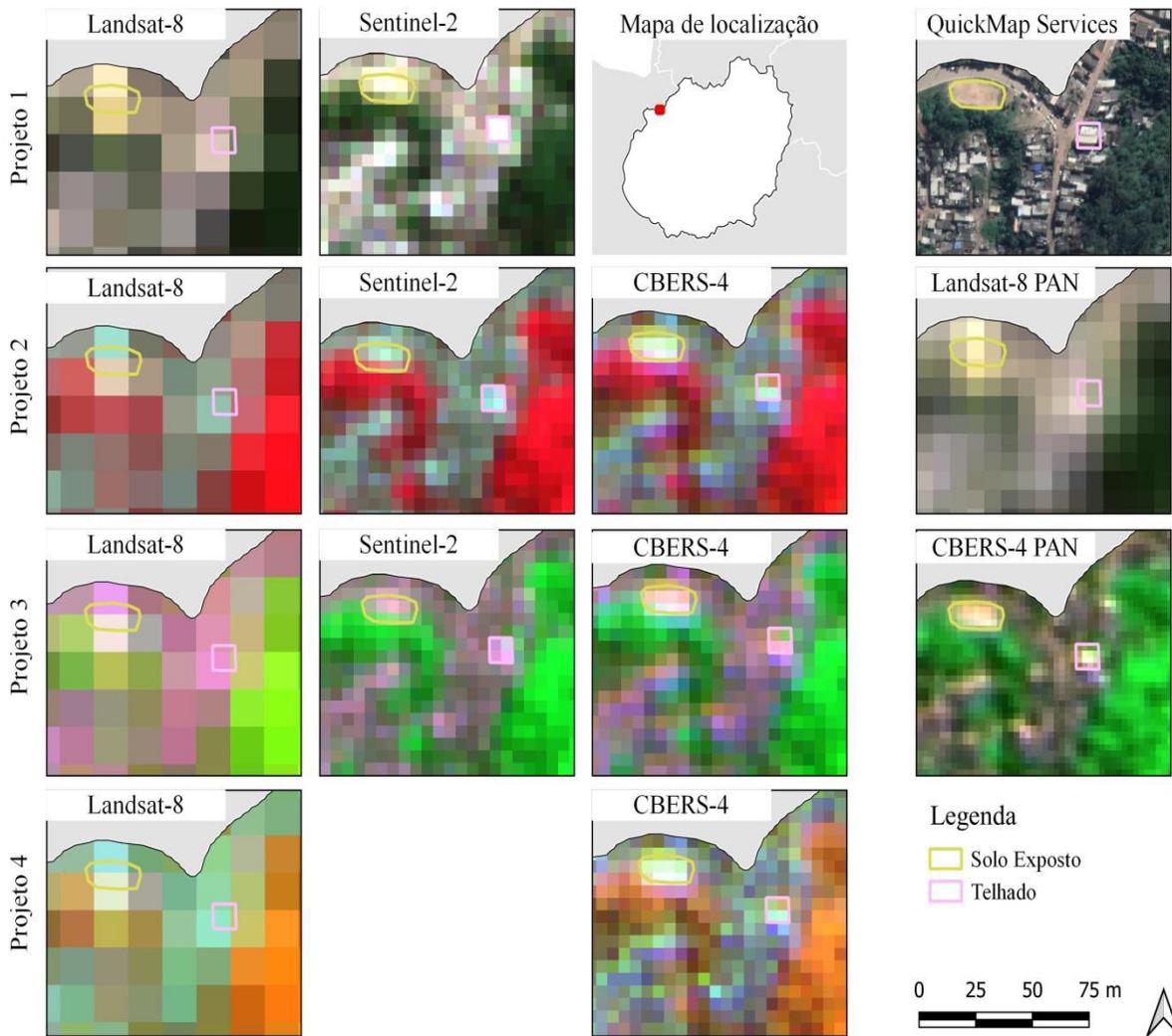


Figura 3. Amostras das composições com limites de solo exposto e material construtivo (tipo metálico).

Em suma, cicatrizes de deslizamento vinculadas aos registros de ocorrências da defesa civil entre janeiro e março não puderam ser identificadas com segurança em nenhuma das composições coloridas, seja nas resoluções de 30 ou 10 metros, tampouco nas imagens fusionadas. O que se observa a partir das imagens dos satélites considerados, são alguns casos de manchas escuras nas proximidades ao ponto da ocorrência, como mostra a figura 4, que podem representar também efeitos de sombra (de habitações do entorno ou vegetação de porte alto) ou de alta absorção e baixa reflexão da radiação incidente devido a presença de umidade no solo. Essas manchas escuras não são distinguíveis da mesma maneira em todas as imagens: observa-se que nas composições que

usaram bandas de resoluções espaciais maiores e que retornam comprimentos de onda a partir do infravermelho (CBERS-4 e Sentinel-2 dos projetos 2 ao 4), elas se apresentam com mais destaque. Ou ainda, com mais contraste com o entorno de vegetação. Em visita de campo ocorrida em novembro de 2019, foi possível confirmar que a mancha escura da figura 2 especificamente coincide com uma cicatriz de deslizamento, de dimensões aproximadas de 22 m de largura e 97,0 m de comprimento e área de 1540 m². O limite da mancha escura é mais bem definido na imagem CBERS-4 fusionada. Ao espacializar os dados das ocorrências na bacia, nota-se que há uma maior concentração de ocorrências próximas aos divisores de água.

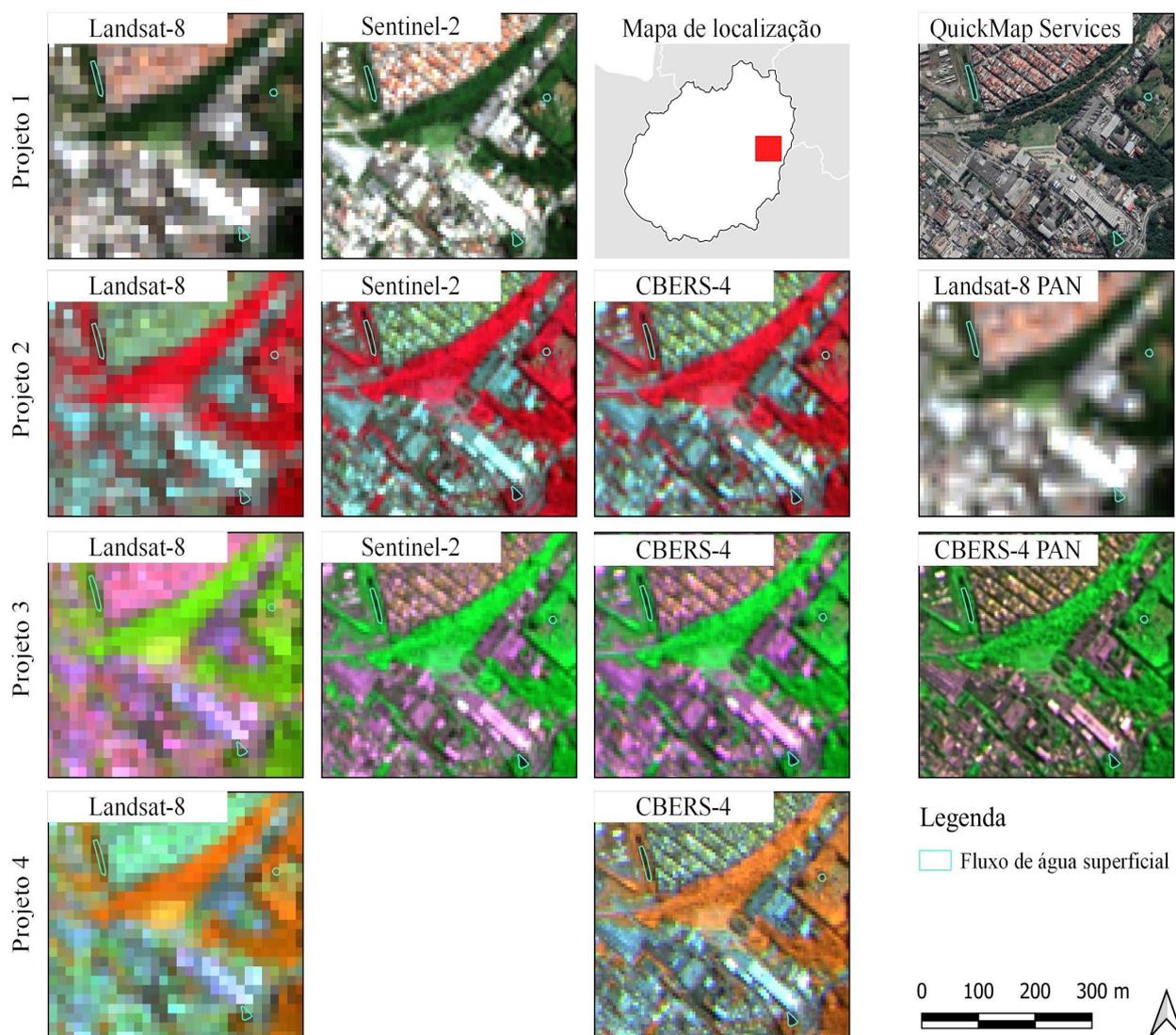


Figura 4. Amostras das composições com porções úmidas e padrões urbanos.

Outra possibilidade quanto à limitação na identificação das feições deve-se ao fato dos endereços das ocorrências atendidas corresponderem ao local de solicitação do atendimento e não precisamente na coordenada do polígono de deslizamento. É importante, portanto, direcionar esforços para aumentar a precisão das localizações dos processos em inventários de deslizamentos para desenvolvimento de modelos de previsão mais acurados. Paralelo a isso, a espacialização dos endereços que se deu pelo complemento MMQGIS podem não se apresentar alocadas de forma exata nos pontos criados. Outros elementos que podem indicar a ocorrência de movimentos de massa de menor tamanho e mais sutis que cicatrizes de deslizamento, tampouco puderam ser identificados,

como inclinação de estruturas verticais (árvores, postes), trincas, degraus de abatimento.

Solos expostos, que por dedução, a partir de uma resposta espectral semelhante podem indicar processos de deslizamento (desde que as cicatrizes estejam livres de interferências de sombras e altas umidades), foram também observados. Em todas as composições não fusionadas esse alvo retornou tons claros, com influências de tons quentes nos projetos 1 e 3, e tons frios no 2 e 4. As composições CBERS-4 retornaram saturações mais intensas que os demais satélites. A saturação mais intensa da imagem CBERS-4 pode ser explicada por suas bandas 3 e 6 cobrirem valores superiores de porcentagem de reflectância para o solo relação às bandas Sentinel-2, por exemplo, segundo as assi-

naturas espectrais dos materiais apresentados por Meneses e Almeida (2012) e Bakula (2015). Apesar dos limites de formas aparecerem mais definidos nas imagens fusionadas (assim como nas composições de maior resolução espacial), a saturação e coloração passaram a ficar menos intensas com esse procedimento.

Considerando os entornos nos quais o solo exposto se localiza, as composições apresentam desempenhos distintos para identificação das feições: se inseridos em ambiente urbano construído, destacam-se as composições falsa cor CBERS-4 dos projetos 2 e 3. As demais composições apresentam altas reflectâncias e saturação dos materiais urbanos, reduzindo o contraste entre o solo exposto e o entorno. Alguns materiais no ambiente urbano, mesmo nas composições de melhores desempenho, retornam respostas muito semelhantes com as do solo, como indica a amostra da figura 3. A baixa resolução espacial das imagens Landsat-8 é um limitador para identificação das manchas, em especial nos ambientes urbanizados, marcados pela heterogeneidade e rugosidade de texturas, onde os processos de deslizamentos podem ser graves, mesmo com pequenas áreas de atingimento dada a densidade de elementos expostos, não distinguíveis nesta resolução. Isso confirma o fato indicado por Meneses e Almeida, 2012, que o atributo das altas resoluções espaciais favorece a identificação mais precisa de formas dos alvos imageados.

Telhados de metal ou materiais de cimento assemelham-se ao solo exposto em pixels de alta reflectância, quando a resposta tende ao branco. Nesse sentido, a saturação nas imagens piora a distinção entre alvos. Telhas de barro confundem-se com o solo em pixels pigmentados: a pigmentação é semelhante à do solo. O que pode diferenciá-los são elementos vinculados a forma, textura e padrões. Por exemplo, as cicatrizes de deslizamento tendem a assumir formatos mais orgânicos, arredondados enquanto, que, formatos de solo exposto com limites mais duros e secos, vinculam-se à exposição de solo por interferência antrópica. Exemplos disto são campos de futebol observados. A imagem fusionada do CBERS-4 deixam os limites orgânicos das feições mais evidentes, mas em termos de coloração, esses ainda confundem-se (embora sutilmente menos) com

materiais construtivos (telhados de metal, concreto e barro). Nas composições de maior resolução espacial, portanto, foi mais fácil diferenciar os solos expostos de outros padrões de tipo antrópico dos demais pixels que retornaram tonalidades semelhantes, como os telhados. Quanto menor o tamanho do objeto, mais difícil identificar sua forma real e isso se relaciona com a resolução espacial da imagem.

Em contrapartida, para os solos expostos inseridos em porções de cobertura vegetal, as composições cor verdadeira são as que oferecem mais contraste observável entre os materiais, com destaque à imagem Sentinel-2 que possui resolução espacial de 10 metros. A imagem CBERS-4 do projeto 2 surge como segunda opção, seguido das imagens Sentinel-2 projeto 2 e CBERS-4 do projeto 4, e por último, as composições do projeto 3.

Novamente em relação às sombras, observou-se que ao mesmo tempo em que elas podem ser interferências negativas interpretação de objetos, por ocultar objetos sombreados, as mesmas são responsáveis por conferirem texturas e rugosidade aos padrões do território e diferenciar alturas entre objetos, mesmo que as representações espaciais trabalhadas ocorram em um espaço bidimensional. Assim, dependendo do contexto, sombras podem tornar-se importantes e benéficas. A percepção de profundidade será mais intensa, quanto maiores as resoluções espacial e radiométrica. O efeito de sombras permitiu, por exemplo, a observação sutil de variação de relevo em poucas partes da bacia. A exposição de solos, que ocorrem no nível do chão, pode ser sombreada por árvores, indicando um rompimento de um padrão homogêneo de cobertura vegetal. Caso o aspecto de cor de solo retornado não produza contraste suficiente com o entorno para que seja notada, a sombra que confere textura passa a ser um elemento extra (ou ainda significar somente diferença de altura entre copas de árvores). A necessidade de identificação de pequenas porções de solo exposto em áreas com contínuo de cobertura vegetal de porte arbóreo é relevante somente se houver necessidade de inventariar deslizamentos antigos em localidades anteriormente não ocupadas e que no momento do mapeamento de riscos de movimentos de massa encontram-se ocupadas.

Em áreas urbanas, diferentes objetos relevantes à análise de riscos podem usualmente ser encontrados num espaço de 10 x 10 metros (tamanho da largura do pixel da maioria das composições), como trincas, pequenas cicatrizes de deslizamento, postes inclinados. Puderam ser identificadas, no entanto, áreas de solo exposto de 282 e 686 m², de 18 e 13 m de largura e 18 e 40 m de comprimento, respectivamente, por exemplo. Sua visualização foi mais evidente na composição cor verdadeira Sentinel-2, pois apresentou um alto contraste com o entorno de vegetação. Outros exemplos de áreas de solos exposto com 600, 826 e 495 m² foram identificados com mais dificuldade, devido o contraste com o entorno prejudicado, inseridos em áreas urbanas devido aos padrões de rugosidades e heterogeneidades.

O comportamento da água a partir da interação com a radiação eletromagnética resulta, de acordo com a assinatura espectral desse material, em reflectâncias que não superam os 15% no intervalo do visível, absorvendo grande parte da radiação incidente nessa região, e absorvendo completamente a partir dessa região. Dessa forma, porções úmidas ou materiais que contenham altos teores de água em sua composição serão observados em tonalidades escuras (figura 4). Como consequência, esse material pode ser confundido com sombras, como foi discutido para as amostras da figura 2. Aspectos de contexto, forma e localização podem ajudar na distinção entre um e outro. Acúmulos de água formando corpos hídricos volumosos, possivelmente perenes, foi o que pode ser identificado com as composições utilizadas.

As imagens compostas pela banda do infravermelho próximo apresentaram mais contraste entre a água vegetação do que nas imagens de cor verdadeira. Na resolução espacial de 30 metros, não é possível identificar o caminho de rios na bacia. Algumas manchas escuras em trechos fragmentados coincidem com o curso d'água e a presença de vegetação contínua em linha sugere que esta corresponda à mata ciliar, podendo ser um indicador de presença de rio. Já nas composições com resolução de 10 metros puderam ser observadas mais linhas escuras na vegetação que coincidem com a linha do curso d'água. Outras não coincidem, que indicam representar sombras. Em trecho urbano, nas composições 10 metros

com banda NIR, observa-se que a drenagem segue a sinuosidade de algumas avenidas, onde em alguns trechos, a vegetação também acompanha o caminho de água não observável, e em outros curtos, a água pode ser observada (como mancha escura). O trecho de rio identificado em área urbana possui 6 metros de largura. Muitos dos rios podem estar ocultos na porção urbana por estarem canalizados e situarem-se debaixo do viário.

A menor massa d'água identificada pela composição Landsat-8 com bandas do NIR possui 4830 m² (figura 4), e 2600 m², enquanto, que, nas imagens de 10 m, a menor área de água possui aproximadamente 400 m². A composição com mais contraste observável entre urbano e vegetação com a água é a Landsat-8 do projeto 3, apesar de sua resolução ser de 30 m. No entanto, um dos testes com imagem Sentinel-2 gerou uma composição correspondente (bandas 5-7-3), em maior resolução espacial, mas em momento posterior a formação dos agrupamentos para o projeto 3 e não foi incluída nas análises. Essa demonstra uma composição relevante para mais investigações de áreas com presença de água. Já as composições de 10 m selecionadas, CBERS-4 e Sentinel-2 do projeto 3, também propiciaram observações de alto contraste, em especial com a vegetação. No projeto 2 e nas composições cor verdadeira, os contrastes observados foram menores. Com a imagem fusionada em 5 metros do CBERS-4 é possível identificar mais linhas escuras que correspondem às presentes no *shapefile* de hidrografia do que na imagem CBERS-4 original. No entanto, algumas das massas d'água dão menor contraste com a vegetação que tem uma tonalidade menos viva e aspecto mais rugoso e confundem-se com sombras.

A cobertura vegetal apresenta um papel relevante nas composições. Ela marca os limites com o espaço urbano e as composições falsa cor, que usam bandas na região do infravermelho, resultam em cores vibrantes para esse material. No caso da vegetação aparecer em vermelho ou laranja, a banda NIR de cada satélite foi alocada no canal vermelho do RGB. No caso de aparecer em verde claro, foi alocada no canal verde. Destacam-se as composições Sentinel-2 e CBERS-4 dos projetos 2 e 3 para observação desse material. A diferença do porte da vegetação arbórea/arbustiva e gramínea pode ser notada em todas composições.

Mas apenas nas de resolução espacial 10m é notada a rugosidade e diferenças sutis de altura entre portes de árvores, com destaque, novamente, às composições que utilizam a banda NIR. Na bacia, o padrão predominante de rugosidade da superfície vegetal é heterogêneo, não estando vinculado, portanto, com atividades agrícolas.

Gramíneas em crescimento dificultaram a visualização de solo exposto nos projetos 2 e 3, pois as colorações vermelha e verde respectivamente, ressaltam-se em sutis surgimentos de vegetação dessas porções de solo. A menor feição observável pelas composições do Landsat-8 nos projetos de 1 a 3 possui área de 590 m², e 390 m² para o projeto 4. Esses exemplos ocuparam área menor que a de 1 pixel da resolução Landsat-8 (30 x 30 m) e podem ser considerados amostras pontuais, que puderam ser visualizadas pois o alto contraste com o entorno favoreceu a observação e o material de interesse, ainda que com área pequena, estava centralizada em relação ao pixel. Para a imagem cor verdadeira Sentinel-2, árvores em contexto urbano podem ser confundida com sombras, pelo fato da tonalidade do verde ser escuro, menos vibrante. Nas composições de 10 metros, as imagens CBERS-4 (projetos 2 e 3) puderam identificar árvores com copa de 70 m². A imagem Sentinel-2 do projeto 3, pode identificar vegetação a partir da área de 105 m² e do CBERS-4 projeto 4, de 180 m². A composição fusionada PAN do CBERS-4 tem condições piores de visualização de pequenas porções de vegetação em áreas urbanas pois as tonalidades para esse material são menos vibrantes.

Em relação aos efeitos de sombras, as composições cor-verdadeira (projeto 1) retornam uma coloração escura para vegetação e o contraste entre áreas sombreadas de não sombreadas é baixo. A resolução espacial de 10 metros evidencia melhor a identificação de sombras, com destaque para composição CBERS-4 (dos projetos 2 e 3), em especial quando estes são em porções de cobertura vegetal. Efeitos de sombreamento por árvores e construções são frequentes nas imagens. A heterogeneidade das áreas urbanas representados por manchas com padrão rugoso nas imagens de satélite, devido às diferentes alturas entre os objetos que os compõem e tipos de materiais, dentre os quais podem se destacar o asfalto, concreto, co-

berturas de metal, telhas de barro, dentre outros. Como indicado por Florenzano (2002), aspectos ligados à urbanização, padrões internos de planejamento, distribuição de áreas verdes caracterizam as cidades e podem ser percebidos nas imagens de sensoriamento remoto e, uma vez que os materiais são variados e os limites e formas de pequenos objetos destoam entre si em áreas pequenas, a resolução espacial é relevante para análise do ambiente urbano. Dessa forma, merecem destaque as imagens geradas pelos sensores CBERS-4 e Sentinel-2 na interpretação dos padrões desse ambiente. Os limites da mancha urbana observados na bacia são mais evidentes nas imagens cor verdadeira, devido ao contraste com a vegetação.

No projeto 1, as composições de cor verdadeira retornam, para viário e asfalto, resposta em cinza escuro enquanto, que, para concreto, retornam tons mais claros não pigmentados (reflectância mais acentuada), coerente com as assinaturas espectrais dos materiais apresentados por Bakula (2015). A porção urbana aparece saturada na composição de cor verdadeira e os materiais de baixa reflectância (viário), podem ser confundidos com vegetação. Assim como as porções de solo exposto, a porção urbana retorna tons claros ao magenta para o projeto 3, e tons claros aos frios para os projetos 2 e 4, sendo as imagens CBERS-4 mais saturadas, nesse caso. Quanto ao reconhecimento dos padrões de ocupação, as imagens Landsat-8 permitiram somente a distinção de blocos desenhados por grandes vias (60 m de largura). Para observação dos elementos internos do espaço urbano, as imagens compostas com banda no NIR e de 10 metros de resolução, são melhores, apresentaram menor saturação que na imagem Sentinel-2 composição verdadeira. Nesses casos é possível notar densidades, desenhos de quarteirões (se regulares e/ou paralelos ou não), ruas a partir de 7 m de largura.

No entanto, os pixels de 10 metros não são suficientes para identificação de limites entre moradias, em especial de moradias de assentamentos informais densos. Telhados escuros em sequência ou linhas de vegetação também podem ser confundidos com o traçado de ruas. Pode-se dizer também que não é trivial distinguir, a partir dessas imagens, áreas de médio e baixo padrão construtivo. Áreas com telhados de telha de

barro sugerem que sejam porções de médio padrão. Galpões mais amplos, com larguras superiores a 15 metros, com respostas semelhantes à solos expostos, puderam ser identificados e delimitados. A imagem fusionada CBERS-4 apresenta elementos significativos para a caracterização da porção urbana, como viários, melhor definidos, facilitando as diferenciações de tecido urbano. Essa composição fusionada ainda não permite distinções a nível de lote. Na porção urbana variações altimétricas no terreno em grandes áreas são ainda mais difíceis de serem percebidas, devidos as heterogeneidades e contrastes internos. Esses contrastes são mais bem percebidos e delimitados nas imagens NIR-RED-GREEN do CBERS-4 e Sentinel-2 (projeto 3). Viário, vegetação e hidrologia, os quais desenham o perímetro urbano e padrões internos, são passíveis de identificação, a depender de seus tamanhos e da resolução espacial do sensor.

A partir dessas avaliações com as imagens de 2019, foi realizada a composição falsa-cor (3-4-2) com imagem de abril de 2016 do satélite CBERS-4 para a comparação das dinâmicas temporais do uso e cobertura do solo. De janeiro a março de 2016, o município registrou somente 4 ocorrências de deslizamentos na bacia e, novamente, nenhuma cicatriz associada aos pontos pôde ser observada. Não foram notadas variações no nível de rios mas notou-se na do reservatório Billings. Foi possível notar o avanço de alguns assentamentos sobre antigas porções vegetadas (como o exemplo próximo ao divisor de águas a noroeste da bacia), novos empreendimentos e porções de crescimento de vegetação. As mudanças no uso do solo foram pouco significativas ao longo desses quatro anos na bacia do córrego Alvarenga. A comparação temporal de imagens ampliou as possibilidades de interpretação do território, evidenciando os aspectos de uso e cobertura que são dinâmicos, além dos estáticos. Blazys (2020) aponta as alterações temporais observadas na bacia de forma espacializada. Sausen e Lacruz (2015), destacam que para o monitoramento de áreas sujeitas a deslizamento é importante a comparação das condições espaciais ao longo do tempo, em especial, na investigação da expansão de deslizamentos ocorridos anteriormente.

Com base na análise apresentada, a bacia do córrego Alvarenga reúne uma série de elementos relevantes que potencializam situações de riscos de movimentos de massa, sejam eles enquadrados como ameaças (ambientais e antrópicas) e vulnerabilidades, ainda que nem todos eles puderam ser caracterizados pelas imagens de satélite, mas verificados em outros materiais e presencialmente. Vale adicionar ainda que as ferramentas cartográficas de gestão aplicadas no município contribuíram para expandir as comparações dos resultados aqui obtidos com outras tipologias de imagens obtidas por outros sensores utilizadas na construção das ferramentas. Essa proposta pode ser aplicada a outros territórios que se encontram em contextos geográficos semelhantes, considerando os aspectos físicos e antrópicos.

A existência das ferramentas cartográficas de gestão de riscos existentes na área da bacia do córrego Alvarenga ressalta a importância da documentação da espacialização dos aspectos físicos, de uso e cobertura de solo e de planos de gestão territorial, devendo servir como exemplo e motivação a ser seguido por outros municípios. Esses materiais, além de contribuírem em construções de políticas públicas mais assertivas para redução de riscos, permitem o desdobramento de outras investigações e pesquisas técnico-científicas apuradas e aprofundadas para diferentes amostras de território, ampliando o leque de possibilidades e detalhamentos entre elementos indutores para formação de áreas de risco.

Dessa forma, após a avaliação dos alvos (cicatrices de deslizamentos prévios e solo exposto, concentração de fluxos de água superficial, presença de cobertura superficial de vegetação e dinâmicas urbanas de ocupação) que fazem parte do contexto das análises de risco de movimentos de massa com produtos fornecidos gratuitamente pelos satélites Landsat-8, CBERS-4 e Sentinel-2 destacam-se:

- I. Reconhecimento sistemático de áreas ocupadas e não ocupadas de um município: Dado relevante para as investigações iniciais de reconhecimento do território para elaboração das cartas geotécnicas de suscetibilidade e aptidão à urbanização, com dados atualizados;

- II. Identificação de áreas prioritárias à conservação: permite a identificação de áreas de conectividade florestal para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização com abordagem ambiental;
 - III. Informações do histórico de ocupação de áreas: indicam os possíveis assentamentos mais ou menos consolidados e consequentemente, com mais ou menos estrutura urbana e apropriação do contexto local pelos moradores. Pode apontar, na setorização de risco, áreas prioritárias a investigações mais aprofundadas;
 - IV. Identificação de avanço de assentamentos: contribui para o monitoramento de novas ocupações em setores de risco mapeados, ou sobre locais suscetíveis aos processos de movimentos de massa, com atualização quase semanal. Indica os vetores de expansão urbana, sendo essa uma informação relevante para definição de área de estudo para a carta geotécnica de aptidão à urbanização;
 - V. Identificação de supressão de vegetação: Contribui para o monitoramento. Vincula-se à interferência antrópica sobre o território e à exposição dos solos a caminhos preferenciais de água. Pode indicar uma futura expansão de assentamentos. Observável a partir de 4 árvores de porte alto;
 - VI. Realização de inventários de grandes deslizamentos pretéritos: Para municípios onde essa sistematização é inexistente ou é incompleta, mais informações podem ser obtidas para grandes deslizamentos (incluindo as geometrias do processo, período de ocorrência) para deslizamentos com comprimento ou largura superiores a 40 m em áreas com cobertura vegetal. Dados do registro de deslizamentos são usados nos diversos tipos/escalas de cartas geotécnicas (susceptibilidade, aptidão e setorização de risco).
- II. Baixa percepção de deslizamentos de médias a pequenas proporções, recorrentes e relevantes em áreas urbanas;
 - III. Dificuldade para identificar de forma segura os fluxos concentrados de água em áreas urbanas com larguras menores que 40 m;
 - IV. Impossibilidade/pouca possibilidade de observação dos indicadores de movimentos de terreno como inclinação de postes, árvores, trincas em muros;
 - V. Pouca segurança para distinção entre sombras e pequenas áreas úmidas em porções urbanas;
 - VI. Pouca possibilidade de observar interferências antrópicas de estabilidade de encostas em nível de lote; e
 - VII. Procedimento custoso em termos de tempo.

Portanto, as imagens de sensoriamento remoto trabalhadas apresentam contribuições no monitoramento e mapeamento de áreas de risco de movimentos de massa, mas de maneira limitada. São possíveis o reconhecimento sistêmico presente e pretérito do território, a interpretação de algumas tendências de uso do solo e poucas informações pontuais em ambientes heterogêneos, no geral, vinculados a remanescentes vegetais. Em casos de tomadas de decisão relativa à gestão dos riscos, estas devem ser complementadas com dados de outras escalas, no entanto, elas podem direcionar investigações mais profundas na tratativa dos riscos e ou suscetibilidade, como por exemplo, orientar investigações de campo para porções específicas do município, e podem ser significativas para locais com alta carência de informações territoriais e com deficiências em bases de dados históricos.

O uso de outros sensores que registram informações da superfície terrestre foram mencionados no processo de produção das cartografias geotécnicas, tais como fotografias de chão obtidas em visitas de campo, ortofotos, fotografias oblíquas aéreas, e até mesmo por meio de veículos aéreos não tripulados (VANTs). É fato que esses produtos possuem alta qualidade, resoluções mais compatíveis para embasar as intervenções de redução de riscos e podem fornecer informações sobre o relevo e outros ângulos e perspectivas de indica-

Dentre as limitações das imagens, faz-se as observações:

- I. Dificuldade na distinção exata de limites entre assentamentos precários e não precários;

dores de risco. No entanto, necessitam de um planejamento prévio para serem obtidas, devem ser atuais, não permitem a composição multiespectral de bandas, não cobrem grandes extensões (nível municipal, por exemplo, exceto as ortofotos), mesmo para pequenas áreas, geram arquivos que necessitam grande volume de armazenamento e raramente contém uma sistematização de registros históricos homogêneos (ângulo de captura). As limitações das imagens Google também utilizadas referem-se especialmente à inflexibilidade de composição de bandas e a baixa resolução temporal se comparado às imagens de satélite, especialmente para as cidades brasileiras de médio a pequeno porte.

Imagens CBERS-4 fusionadas com a banda PAN de 5 metros, que geram informações em escala de maior detalhe (e também demandam a inclusão de mais uma etapa de processamento e maior volume para armazenamento) podem ser usadas em etapas intermediárias entre as investigações mais generalizadas das imagens não fusionadas dos satélites, e as imagens já utilizadas para elaboração dos tipos de cartas geotécnicas aplicadas a risco no município São Bernardo do Campo, no caso a bacia do córrego Alvarenga. Essas composições fusionadas permitem evidenciar os padrões de rugosidade dos tecidos urbanos de forma mais significativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um aspecto relevante quanto ao uso de imagens de satélite deve-se ao fato da disponibilização gratuita desse tipo de dado, organizado sistematicamente e que pode resgatar configurações passadas sobre o território. Destaca-se o programa do satélite Sino-Brasileiro CBERS-4 que apresentou altos desempenhos em relação aos demais satélites estudados para os fins desse trabalho, voltado ao mapeamento e monitoramento de alvos de interesse para avaliação de riscos de movimentos de massa, seguido do Sentinel-2. Mas também é preciso reconhecer que apesar da gratuidade aos dados das imagens de satélites multiespectrais com 10 metros de resolução espacial e taxas de revisita de até 5 dias, o manejo e interpretação desses dados não é um processo trivial. Ele requer conhecimento especializado sobre a tecnologia e seus

princípios físicos de operação, acesso à hardwares e softwares, tempo de experiência do intérprete para obtenção de informações mais apuradas e conhecimento sobre o tema para o qual a tecnologia será aplicada.

No contexto do risco de movimentos de massa, conclui-se que a aplicação da tecnologia sobre alvos vinculados às análises de riscos, possui contribuições indiretas e relativas. Elas apresentaram baixo potencial de caracterização e distinção de elementos condicionantes presentes no ambiente urbano significativos na indução de situações de risco. No entanto, alguns dos seus atributos, em especial referentes às composições realizadas com bandas no infravermelho a 10 metros de resolução espacial, que contribui em especial nas demandas de monitoramento de áreas de risco presentes na Lei nº 12.608/12, merecem ser exaltadas. Esses atributos referem-se à geração automática dos dados territoriais gratuitos e recorrentes para o mesmo ponto da superfície brasileira e a disponibilização dessas bases de dados de informações captadas. A contribuição indireta no contexto do estudo não deixa de ser relevante a depender da situação a qual for demandada: pode suprir a carência de registros históricos e sistematização de bases de dados territoriais deficientes de determinadas localidades e instâncias administrativas e, por cobrir grandes extensões territoriais, contribuir na indicação de onde especificamente devem ser direcionadas e priorizadas investigações detalhadas.

Espera-se, portanto, que a tecnologia continue se desenvolvendo para superar as presentes limitações, mantendo e ampliando a democratização de acessos às informações, e que sejam direcionados esforços, em especial, no aumento das resoluções espaciais e espectrais, em especial às bandas localizadas a partir do SWIR. Esses avanços permitirão ampliar as possibilidades das composições entre bandas espectrais, que a interpretação entre o comportamento de interações entre os materiais e a radiação eletromagnética e sejam ainda mais sofisticadas e extrapolariam os comportamentos atuais das interações mais conhecidos do intervalo espectral do visível.

Outros campos vinculados ao assunto aos quais podem ser direcionadas energias para estudos futuros referem-se à investigação dos indi-

cadadores de áreas de risco aplicados em modelos tridimensionais de terreno, modelagem de identificação automática dos indicadores a partir de reconhecimento de padrões, realização de equação de diferenciação de contrastes entre alvos, de forma a direcionar de maneira mais eficiente, o empilhamento de bandas espectrais para identificação de materiais de interesse a partir de seus valores de refletância. Além disso, a construção de bases com informações geoespacializadas precisas sobre deslizamentos ocorridos é fundamental, em especial, para subsidiar modelagens empíricas mais acuradas.

A escolha da bacia do córrego Alvarenga como amostra territorial de análise foi relevante para permitir que as considerações feitas nessa pesquisa possam ser extrapoladas para outras localidades, dados os aspectos físicos, climáticos, de histórico de ocupação da bacia. As informações sobre esses aspectos foram obtidas por fontes diversas, porém aprofundadas por ferramentas cartográficas voltadas à gestão de riscos de movimentos de massa, que contribuem também na prevenção e mitigação da ocorrência desses processos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Defesa Civil da Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo e ao Laboratório de Gestão de Riscos da UFABC pelo compartilhamento de dados geoespaciais utilizados no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S. AMENOMORI, C. J.; Riscos Geológicos: Aspectos Conceituais. In 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.334-341

BAKULA, K. Multispectral airborne laser scanning: a new trend in the development of lidar technology. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. v. 27. P. 25-44, 2015. Disponível em: <[https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-499bd43b-7a00-4023-](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-499bd43b-7a00-4023-90ca-ebdbf659be90)

90ca-ebdbf659be90>. Acesso em: 24 mai. 2020

BLAZYS, D.B. **Uso e aplicação de imagens de satélite para o monitoramento de indicadores de áreas de riscos de movimentos de massa na bacia do córrego alvarenga, município de São Bernardo do Campo, SP, 2020.** Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Universidade Federal do ABC (UFABC), Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas. Santo André, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Município de São Bernardo do Campo.** 2014. Mapa. Escala: 1:50.000

BRASIL. Ministério das Cidades; UFABC. **Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização:** instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Rio Grande da Serra e São Bernardo do Campo, Região do Grande ABC, Estado de São Paulo. Santo André: Universidade Federal do ABC. v.2, 2015

CANIL, K.; NOGUEIRA, F. R. Avanços e Limitações: Reflexões sobre a gestão de risco. In SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir:** olhares e saberes para a redução de risco de desastres. São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020.

CARDONA, D. O. **Midiendo lo inmedible:** indicadores de vulnerabilidad y riesgo. 2007. Acesso em: <https://www.desenredando.org/public/articulos/2007/articulos_omar/Midiendo_lo_inmedible_ODC_LaRed.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020.

CARDONA, O.D. *et al.* **Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para América Latina y El Caribe:** Entendimiento y gestión del riesgo asociado a las amenazas naturales: un enfoque científico integral para América Latina y El Caribe. Rio de Janeiro: ICSU-LAC, v. 2, 2010

COLÔMBIA, Ministerio del interior y de justicia. **Guía municipal para la gestión del riesgo. Programa de Reducción de la vulnerabilidade física del Estado frente a desastres naturales.** Banco Mundial Bogotá: Grupo Emfor. 2010.

COUTINHO, S.; RAMOS, R.R. Desafio Presente: Mudanças climáticas e desastres naturais . *In* SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastres.** São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020.

DI GREGORIO, L.T.; SAITO, S.M.; SAUSEN, T.M. Sensoriamento remoto para a gestão (de risco) de desastres naturais. *In* SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.) **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FARAH, F. **Habitação e encostas,** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. Coleção: HABITARE/FINEP

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002

GALERA, R. A. **Sistema de informação geográfica aplicado ao Planejamento e à gestão regional de riscos e desastres no Grande ABC – SP.** 2016. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Territorial) – Universidade Federal do ABC (UFABC), Programa Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território. Santo André, 2016.

GALERA, R. A. Informação Integrada: Sistema de Informação na Gestão de Risco Desastres. *In* SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastres.** São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020

IPCC, **Climate change 2014: synthesis report.** In: Core, W. T. et al. (Ed.). Contribution of working groups 1, 2 and 3 to the fifth assessment report

of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: Switzerland, 2014. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>> . Acesso em: 23 jun. 2020

IPT; CPRM. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: 2014. Livro eletrônico. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 mai. 2020

LOPES, E.S.S.; ARRUDA JUNIOR, E.R. Sensoriamento remoto para deslizamentos. *In* SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.) **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015

MENESES, P. R.; ALMEIDA T (org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: UNB, CNPq, 2012. *E-book.*

METTERNICHT, G.; HURNI, L.; GOGU, R. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. **Remote sensing of Environment**, v. 98, n. 2-3, p. 284-303, 2005.

MOLINA, E. A. N.; CARDOSO, A. O.; NOGUEIRA, F.R. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo – SP. **Ciência e Natura**, Santa Maria: Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, v. 37. Ed. Especial, p.46-54, 2015

NOGUEIRA F. R., OLIVEIRA, V.E., CRUS, B.A.L. A implementação local de políticas, programas e legislação em nível federal sobre riscos de desastres: o caso de São Bernardo do Campo, SP *in* 3º SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO, 3. Anais 3º APPURBANA. Belém, 2014.

NOGUEIRA, F.R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos:**

contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2002.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Lei nº 6238, de 13 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a alteração da lei municipal nº 6.184, de 21 de dezembro de 2011 - Plano Diretor do município de São Bernardo Do Campo; da lei municipal nº 6.222, de 3 de setembro de 2012, lei de parcelamento, uso e ocupação do solo; da lei municipal nº 5.959, de 13 de agosto de 2009...

SÃO PAULO (estado). Lei nº 13.579, de 13 de julho de 2009. Define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings - APRM-B. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13579-13.07.2009.html>>. Acesso em: 24 mai. 2020.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.) **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015

SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastres**. São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <<http://www.incline.iag.usp>

[br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2020.

UNISDR. **2018 Annual Report**. Geneva: United Nations, 2018

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED-UFSC, v. Brasil. 2. Ed., 2013. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>> . Acesso em: 24 mai. 2020

VAN WESTEN, C. J.; CASTELLANOS, E.; KURIAKOSE, S. L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. **Engineering geology**, v. 102, n. 3-4, p. 112-131, 2008.

VEYRET, Y. (org.) **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto. 2 ed. 2007.

WARNER, J. Laços Invisíveis: Cultura e Redução de Desastres. *In* SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R.(org.). **Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastres**. São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13579-13.07.2009.html>>. Acesso em: 24 mai. 2020.