

PROPOSTA PARA A CARTOGRAFIA DE FAIXA DE PROTEÇÃO DO REVERSO DAS *CUESTAS*: UM ESTUDO DE CASO EM BOTUCATU (SP).

Rafael Vilela de Andrade¹

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, Brasil

E-mail: rafael.vadr@gmail.com

Cenira Maria Lupinacci²

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, Brasil

Email: cenira.lupinacci@unesp.br

Resumo

O município de Botucatu (SP), que abriga em seu território um setor das *cuestas* paulista, conta com uma legislação municipal inovadora que determina uma faixa de proteção ambiental sobre o reverso cuestiforme de 250 metros a serem quantificados a partir da linha de ruptura. Entretanto, devido à heterogeneidade morfológica do *front*, a identificação da linha de ruptura, conforme prevê a legislação, é uma tarefa complexa. Portanto, esse artigo busca apresentar e discutir técnicas de geoprocessamento utilizadas para mapear a faixa de proteção ambiental, assim como discutir o uso da terra que ocorre nessa área. Para isso, foram elaborados mapas de profundidade de drenagem e de declividade do município e foram fotointerpretadas ortofotos digitais, buscando precisão na identificação da linha de ruptura. Ainda, tais dados foram avaliados por meio de trabalhos de campo. Os procedimentos técnicos possibilitaram gerar produtos cartográficos que atendem as demandas da legislação, assim como a análise do uso e ocupação da terra sobre a faixa de proteção, o que revelou uma região de intenso uso da terra em setores nos quais o declive permite tais atividades. Dessa forma, compreende-se que o emprego de técnicas cartográficas associadas às questões geomorfológicas é uma ferramenta de grande valor na preservação do relevo cuestiforme. **Palavras Chave:** Erosão; *Cuesta*; Legislação; Fragilidade.

MAPPING PROPOSAL FOR THE PROTECTION AREA IN THE REVERSE OF THE *CUESTAS* SCARP: A CASE STUDY IN BOTUCATU (SP).

Abstract

The municipality of Botucatu (SP), which has in its territory a sector of the Cuestas Paulistas, is ruled by a local legislation that requires a protection area of 250 meters in the reverse of the cuesta, quantified from the rupture line of the scarp. However, due to the heterogeneity of the front, the identification of the rupture line, as required by law, is a complex research. Therefore, this article seeks to present and discuss geoprocessing techniques used to map the environmental protection area, as well as to discuss the land use that occurs on it. For this, maps of drainage deep and declivity of the municipality were elaborated and digital orthophotos were interpreted, seeking precision in the identification of the rupture line. Furthermore, such data was reambulated on fieldwork. The technical procedures made it possible to generate cartographic products according to the demands of the legislation, as the analysis of land use over the protection area, that revealed a region of intense land use in sectors allowed by the declivity. Thus, it is understood that the use of cartographic techniques associated with geomorphological issues is a valuable tool in the preservation of the cuesta relief.

Keywords: Erosion; *Cuesta*; Legislation; Fragility.

PROPUESTA DE CARTOGRAFÍA DE ZONA DE PROTECCIÓN DEL REVERSO DE LAS CUESTAS: ESTUDIO DE CASO EN BOTUCATU (SP).

Resumen

El municipio de Botucatu (SP), que hay en su territorio un sector de las cuestas paulistas, cuenta con una ley municipal innovadora que determina una zona de protección ambiental sobre el reverso cuestasiforme de 250 metros a cuantificar a partir de la línea de ruptura. Sin embargo, debido a la heterogeneidad morfológica del front, la identificación de la línea de ruptura, como exige la legislación, es una tarea compleja. Por lo tanto, este artículo busca presentar y discutir las técnicas de geoprosesamiento utilizadas para mapear la zona de protección ambiental, así como discutir el uso de la tierra que ocurre en esta área. Para eso, se crearon mapas de profundidad de drenaje y de pendiente del municipio y se interpretaron fotografías aéreas digitales corregidas geométricamente, buscando precisión en la identificación de la línea de ruptura. Además, estos datos se evaluaron mediante trabajo de campo. Los procedimientos técnicos permitieron generar productos cartográficos que cumplen con las exigencias de la legislación, así como el análisis del uso y ocupación de la tierra en la zona de protección, que reveló una región de uso intensivo de la tierra en sectores donde la pendiente permite tales actividades. Así, se entiende que el uso de técnicas cartográficas asociadas a cuestiones geomorfológicas es una herramienta de gran valor en la preservación del relieve de cuesta.

Palabras-clave: Erosión; Cuesta; Legislación; Fragilidad

Introdução

Os relevos de cuestas são característicos de regiões de bordas de bacias sedimentares concordantes sub-horizontais com camadas heterogêneas, sendo frequentemente identificados em paisagens continentais (SHEEHAN; WARD, 2018). Morfológicamente, o relevo cuestasiforme se caracteriza como uma estrutura dissimétrica, composta por duas feições principais, o front de alta declividade, voltado para a borda da bacia sedimentar, e um reverso de baixas declividades voltado para o interior da bacia (PENTEADO, 1983; CASSETI, 1994; TORRES, MARQUES NETO, MENEZES, 2012; SHEEHAN; WARD, 2018). A gênese e evolução destas estruturas ocorrem por meio de processos denudativos que são orientados pela inclinação das camadas estratigráficas, promovendo o recuo do front em direção ao eixo da bacia isoclinal (ROSS, 1996).

Este processo, que Ab'Saber (1949) denominou circundenudação, é responsável pela criação de depressões periféricas que evoluem das bordas das bacias em direção ao seu centro, criando o front das cuestas, que fazem a transição entre a depressão e o planalto (ROSS, 1996). Dessa forma, é possível falar de uma morfodinâmica do relevo cuestasiforme, no qual o front corresponde a uma frente de erosão ativa, onde se concentram processos denudativos que contribuem para seu recuo.

Diversos estudos, nacionais e internacionais, discutem a ocorrência de intensos processos geomorfológicos sobre as áreas de relevo cuestasiforme, que variam a depender das

características climáticas (GOBIN et al., 1999; SCHMIDT; BEYER, 2002; DEN EECKHAUT; MARRE; POESEN, 2010). Os terrenos cuestiformes, portanto, correspondem a uma área de fragilidade ambiental devido à relação existente entre os elementos estruturais e a dinâmica erosiva associada à sua gênese e evolução. As áreas do front cuestiforme no interior paulista apresentam grande quantidade de feições erosivas e processos acelerados, os quais constituem um sério problema ambiental do estado de São Paulo, e tem sido questão de preocupação do poder público (KERTZMAN et al., 1995).

Dessa forma, é importante compreender a importância ambiental do relevo de cuestas no tocante à conservação das drenagens regionais e do solo, uma vez que estes estão largamente distribuídas no mundo e no Brasil (ROSS, 1996; SHEEHAN; WARD, 2018) e correspondem a áreas de instabilidade e fragilidade ambiental.

Com relação ao papel do poder público, não existe no novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) um texto específico que vise à preservação dos relevos de cuesta. O front, por se tratar de áreas com altas declividades, tem seu uso e ocupação disciplinado pela Lei Lehman (Lei 6766/1979), que estabelece 30% como o limite máximo para o parcelamento do solo com fins urbanos, e por dispositivos do Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) que estabelece os valores de 25° a 45° de inclinação como “áreas de manejo florestal sustentável” e áreas com declividade superior a 45° como “Área de Preservação Permanente (APP)”.

Em São Paulo existem as chamadas Áreas de Preservação Ambiental (APAs) de cuesta, correspondentes aos Perímetros Corumbataí, Botucatu e Tejupá. Essas unidades de conservação são classificadas como “de Uso Sustentável” (SÃO PAULO, 2011, p. 1) e, no caso citado, tem como objetivo proteger “as Cuestas Basálticas, Morros Testemunhos (...), exemplares significativos da flora e fauna regional, o Aquífero Guarani e o Patrimônio Cultural da região” (SÃO PAULO, 2011, p. 4).

No nível municipal, Botucatu (SP) desenvolveu mecanismos para a conservação do relevo de cuestas em seu território. A Lei Complementar 1224/2017 que “Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Botucatu e dá outras providências”, responsável pela regulação e parcelamento da terra, classifica como Zona Especial de Proteção Ambiental uma faixa de terras de 250 metros “a contar da linha de ruptura do front da Cuesta, em direção ao reverso”. Adicional a esse regimento, têm-se a Lei Orgânica de 05 de abril de 1990 que declara a faixa de 250 metros de reverso como área de “Utilidade Pública” visando a “recuperação, preservação e segurança” das cuestas no município.

Constata-se, portanto, que Botucatu conta com uma legislação criteriosa e restritiva voltada para a conservação das estruturas cuestiformes. Entretanto, o Poder Público não dispõe de um material cartográfico preciso e confiável capaz de identificar os terrenos inseridos na faixa de proteção ambiental a partir da linha de ruptura do relevo que viabilize a implementação e fiscalização desta quanto ao uso e ocupação da terra.

Dessa forma, compreende-se a necessidade de desenvolver uma metodologia capaz de cartografar as faixas de preservação do reverso, possibilitando assim, a instrumentalização dos órgãos gestores. Esse instrumento pode auxiliar as instituições no momento do manejo e planejamento ambiental das áreas de cuesta. Além disso, a proposta metodológica para cartografar as faixas de preservação do reverso da cuesta, poderá ser empregada em outros municípios que tenham interesse em tratar da proteção dessas feições geomorfológicas.

Devido ao fato do relevo cuestiforme consistir em uma área de grande complexidade geomorfológica, uma vez que sua dinâmica evolutiva é comandada pela interação de diversos agente e, conseqüentemente, apresenta uma morfologia heterogênea, há dificuldade para a definição de critérios para identificar com precisão a linha de ruptura do relevo, como prevê a legislação.

Dessa forma, o objetivo desse artigo é apresentar procedimentos metodológicos utilizados para identificar e cartografar a área de proteção ambiental de 250 metros no reverso das cuestas de Botucatu. Busca-se ainda discutir as dificuldades encontradas nesse processo, as quais se devem às diversificadas morfologias do front, a fim de colaborar com outros estudos em setores de cuesta.

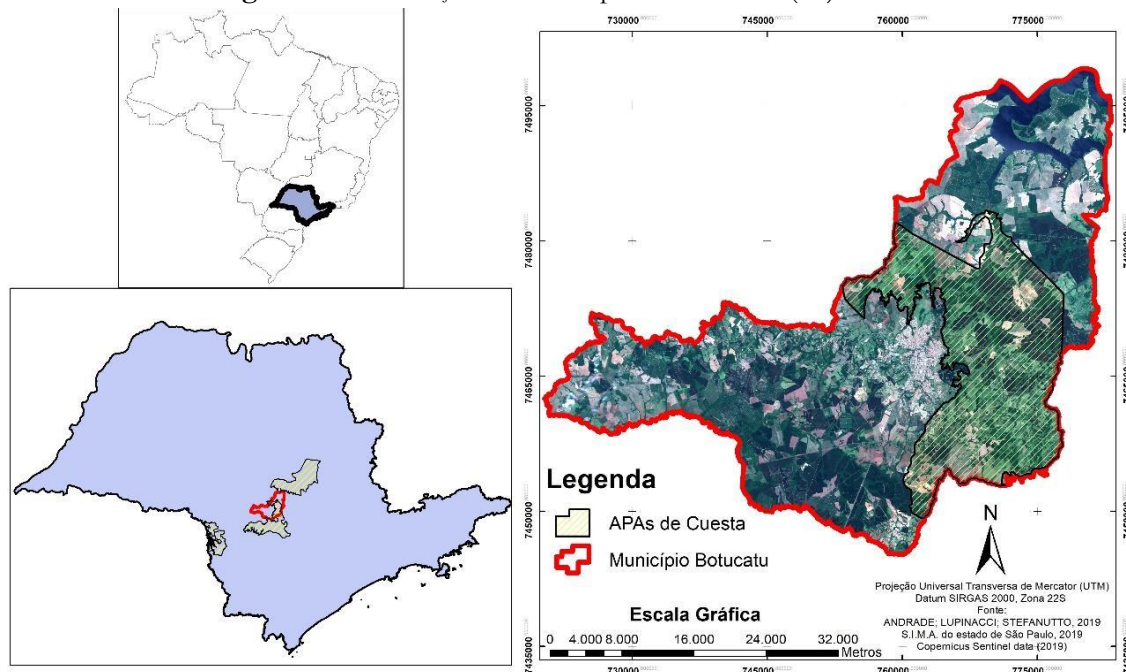
Caracterização da Área de Estudo

O município de Botucatu localiza-se no interior do estado de São Paulo (Figura 01) na província geomorfológica das Cuestas Basálticas (ALMEIDA, 1974). Parte de seu território também está inserido na APA Corumbataí, Botucatu e Tejupá (Perímetro Botucatu), o que pressiona os órgãos municipais em direção a um planejamento ambiental de acordo com os parâmetros estaduais de conservação.

As Cuestas Paulistas correspondem a frentes escarpadas que limitam a Depressão Periférica Paulista a oeste (ALMEIDA, 1974) e caracterizam-se como o maior acidente topográfico do interior do estado. Consistem em sinuosas e descontínuas linhas de escarpa que cruzam São Paulo de Norte para o Sudoeste, interrompida pelos boqueirões dos rios

Tietê e Paranapanema, chegando a atingir 1200 metros de altitude (ALMEIDA, 1974), com desníveis locais que ultrapassam os 250 metros (AB'SABER, 1956).

Figura 01: Localização do município de Botucatu (SP).



Fonte: DATAGEO (2019); Google Earth (2019). Org.: os autores.

Estas frentes de erosão têm sua gênese associada às características estratigráficas da Bacia Sedimentar do Paraná, bacia isoclinal, com a inclinação das camadas no sentido NW (AB'SABER, 1956; ALMEIDA, 1974; PENTEADO, 1983), condicionando o sistema de drenagem em direção ao limite oeste do estado onde se encontra a calha do rio Paraná, orientando a dinâmica erosiva da bacia.

Com relação à estratigrafia, os derrames basálticos do Jurássico e Cretáceo, mais resistentes à erosão, sobrepostos aos arenitos eólicos da Formação Botucatu, menos resistentes (IPT, 1981b), sustentam as formas escarpadas das frentes de cuestas (AB'SABER 1956; ALMEIDA, 1974; IPT, 1981a; PENTEADO, 1983).

O IPT (1981a) faz referência à Serra de Botucatu, correspondente a um fragmento da cuesta presente no município, a qual é sustentada pela Formação Serra Geral. Por sua vez, o IPT (1981b) e o Estado de São Paulo (1984) indicam que a geologia do município de Botucatu abriga as Formações do Grupo São Bento: Pirambóia, nas áreas a nordeste da Serra de Botucatu (IPT, 1981a), Formação Botucatu, em uma estreita faixa que corresponde aos locais identificados como Serra de Botucatu, e Serra Geral, em áreas na porção norte do

município, em vales no reverso e em estreita faixa acompanhando a região da Serra de Botucatu (IPT, 1981a; SÃO PAULO, 1984). A Formação Marília, do Grupo Bauru se distribui por toda a porção oeste do município, área correspondente ao reverso cuestiforme.

Metodologia

Os procedimentos realizados para a elaboração do mapeamento da faixa de preservação consistiram, primeiramente, na identificação da posição do front da cuesta dentro do município de Botucatu através de mapas morfométricos de profundidade de drenagem e de declividade, utilizando o programa ArcGis 9.2. Em seguida foi realizado um trabalho minucioso de fotointerpretação de ortofotos digitais produzidas pela EMPLASA (2010 e 2011) a fim de identificar e traçar a linha de ruptura do relevo. Por fim, os dados obtidos foram reambulados em campo buscando maior precisão nos resultados. A seguir, apresentam-se cada uma destes procedimentos.

Mapa de Profundidade de Drenagem

Este mapa possibilita uma análise da variação altimétrica por área, a fim de identificar os locais com as maiores amplitudes e, conseqüentemente, maior potencialidade erosiva pela energia de canais de escoamento pluviais e fluviais (HUBP, 1988). Esse tipo de mapeamento demonstrou-se eficiente para a identificação do front da cuesta, uma vez que este corresponde a uma faixa de grande movimentação do relevo e intensa atuação dos processos erosivos (AGUILAR; CUNHA, 2015; STEFANUTO; LUPINACCI, 2016).

Para esse mapeamento foram utilizadas as informações vetoriais do limite do município e das curvas de nível em escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros, fornecidas pela Prefeitura Municipal de Botucatu, a partir do levantamento original do IGC (1970). Primeiramente, utilizou-se a ferramenta fishnet para gerar uma malha quadriculada sobre a área do município, criando pequenas unidades de área onde foram realizadas as análises da variação da altimetria (HUBP, 1988). Com relação à dimensão da quadrícula, Hubp (1988) sugere o tamanho de 50 metros de lado para mapeamentos em escala de 1:10.000. Entretanto, essa dimensão atribuiu um excesso de detalhe ao mapa, indicando variações altimétricas associadas a diversos processos geomorfológicos, sem que houvesse um maior destaque ao front cuestiforme. Um teste realizado com quadrículas de 250 metros de lado mostrou um melhor resultado por destacar com mais clareza as grandes feições morfológicas da área, no

caso, o front da cuesta. Portanto, para esse caso, foram utilizadas as quadrículas com 250 metros de lado, ou seja, com uma área correspondente a 62.500 metros quadrados no terreno, dimensão que se mostrou adequada à finalidade deste trabalho.

Em seguida, associaram-se os valores das cotas altimétricas das curvas de nível a cada quadrícula utilizando a operação Join and Relates: join. Com esse procedimento, cada quadrícula passou a conter os valores mínimos e máximos das curvas de nível que cruzam seu perímetro. Dessa forma, quadrículas que abrigavam mais de uma curva de nível, passaram a ter um valor altimétrico máximo (correspondente a cota da curva de maior altitude) diferente de um valor mínimo (correspondente a cota da curva de menor altitude). Quadrículas que não continham nenhuma curva de nível, apenas uma curva ou apenas curvas com a mesma cota altimétrica, não obtiveram diferença entre os valores máximos e mínimos das cotas altimétricas em seu interior, indicando que, naquela área, não há variações altimétricas significativas. A operação seguinte consistiu na subtração dos valores máximos pelos valores mínimos de cada quadrícula a fim de obter a amplitude altimétrica no interior de cada célula, valor correspondente ao dado de profundidade de drenagem.

Por fim, segundo a proposta de Hubp (1988), os valores devem ser atribuídos ao ponto central de cada quadrícula. Para isso utilizou-se a ferramenta Feature to Point, e posteriormente foi criado o TIN (Triangular Irregular Network) buscando a espacialização do fenômeno analisado, e em seguida o arquivo TIN foi convertido para o formato raster, que representa a superfície do terreno de forma contínua, com valores de declividade atribuídos a cada pixel.

Mapa Clinográfico

Este mapa permite identificar os níveis de inclinação da superfície do terreno. Uma vez que o front corresponde a uma área de grandes declividades (PENTEADO, 1983; CASSETI 1994; TORRES, MARQUES NETO, MENEZES 2012), a análise do mapa clinográfico é uma ferramenta eficiente para a identificação desta estrutura (AGUILAR; CUNHA, 2015; STEFANUTO; LUPINACCI 2016).

Para a realização desse mapeamento, foram utilizadas as curvas de nível em escala 1:10.000 com equidistância de 5 metros. Esses dados possibilitaram gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) e a partir deste, foi utilizada a ferramenta Slope para gerar a declividade de modo automático. As classes de declividade foram definidas segundo a proposta de De

Biasi (1992) e a partir de critérios relacionados à legislação ambiental brasileira, como indicado na Tabela (1) a seguir:

Tabela 1: Classes de declividade.

0 - 2% (1,14°)	Áreas de alta possibilidade de alagamentos e enchentes
2 - 5% (2,865°)	Declive de 5% é adotado como limite urbano-industrial de acordo com instituições internacionais e a EMPLASA (DE BIASI, 1992)
5 - 12% (6,843°)	Declive de 12% é o limite para os padrões mais comuns de mecanização agrícola no Brasil
12 - 30% (16,7°)	A Lei federal 6766/1979 estabelece 30% como limite máximo de declividade para urbanização sem restrições
30 - 47% (25°)	O novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) estabelece 25° (47%) como declive máximo para o corte raso da vegetação
47 - 100% (45°)	Área de "manejo florestal sustentável" (Lei 12.651/2012)
≥ 100% (45°)	O novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) define os terrenos de declividade igual ou maior a 45° (100%) como Área de Preservação Permanente (APP)

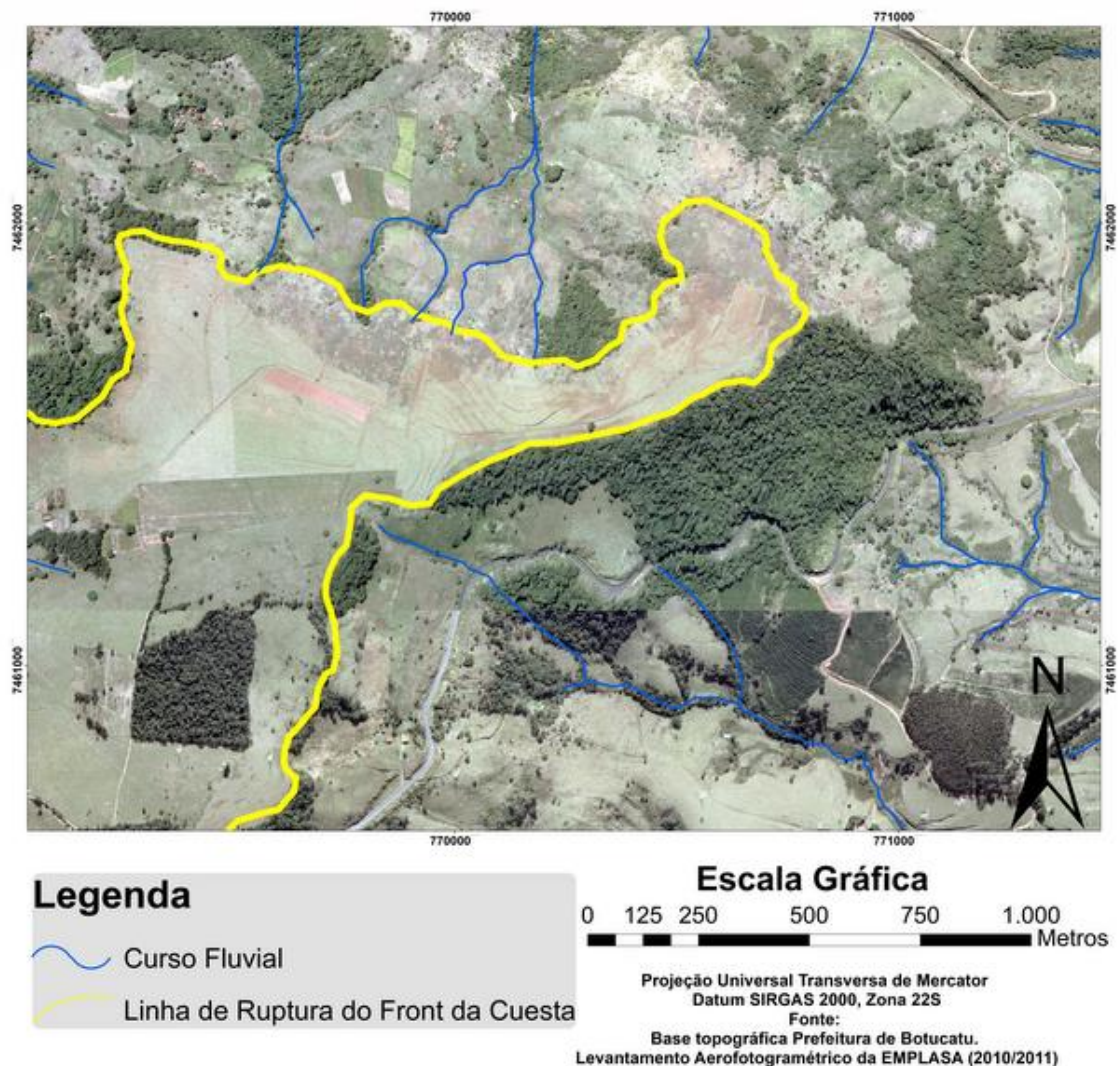
Fonte: De Biasi (1992); Lei Federal 6766/1979; Lei Federal 12.651/2012.

Traçado preliminar da linha de ruptura do relevo

Foram utilizadas as ortofotos digitais geradas pela EMPLASA (2010/2011), com resolução espacial de aproximadamente 1 metro, georreferenciadas e ortorretificadas, para traçar a linha de ruptura do *front* da *cuesta*. Dessa forma, mosaico de ortofotos do município foi sobreposto aos mapeamentos morfométricos e a linha de ruptura do relevo foi identificada por fotointerpretação e traçada manualmente na plataforma digital do *software* (Figura 2). Vale ressaltar que os mapas morfométricos serviram de guia para identificar o posicionamento do *front* da *cuesta*, mas a fotointerpretação foi o procedimento utilizado para mapear com precisão a linha de ruptura do *front*.

Este procedimento proporciona maior precisão e detalhe na delimitação da linha de ruptura do relevo, entretanto, em diversos locais as técnicas de geoprocessamento foram insuficientes para a identificação dessa feição, uma vez que o *front* não é uma estrutura regular, sendo necessária a reambulação dos dados em campo.

Figura 2: Traçado preliminar da linha de ruptura do *front* da *cuesta*.

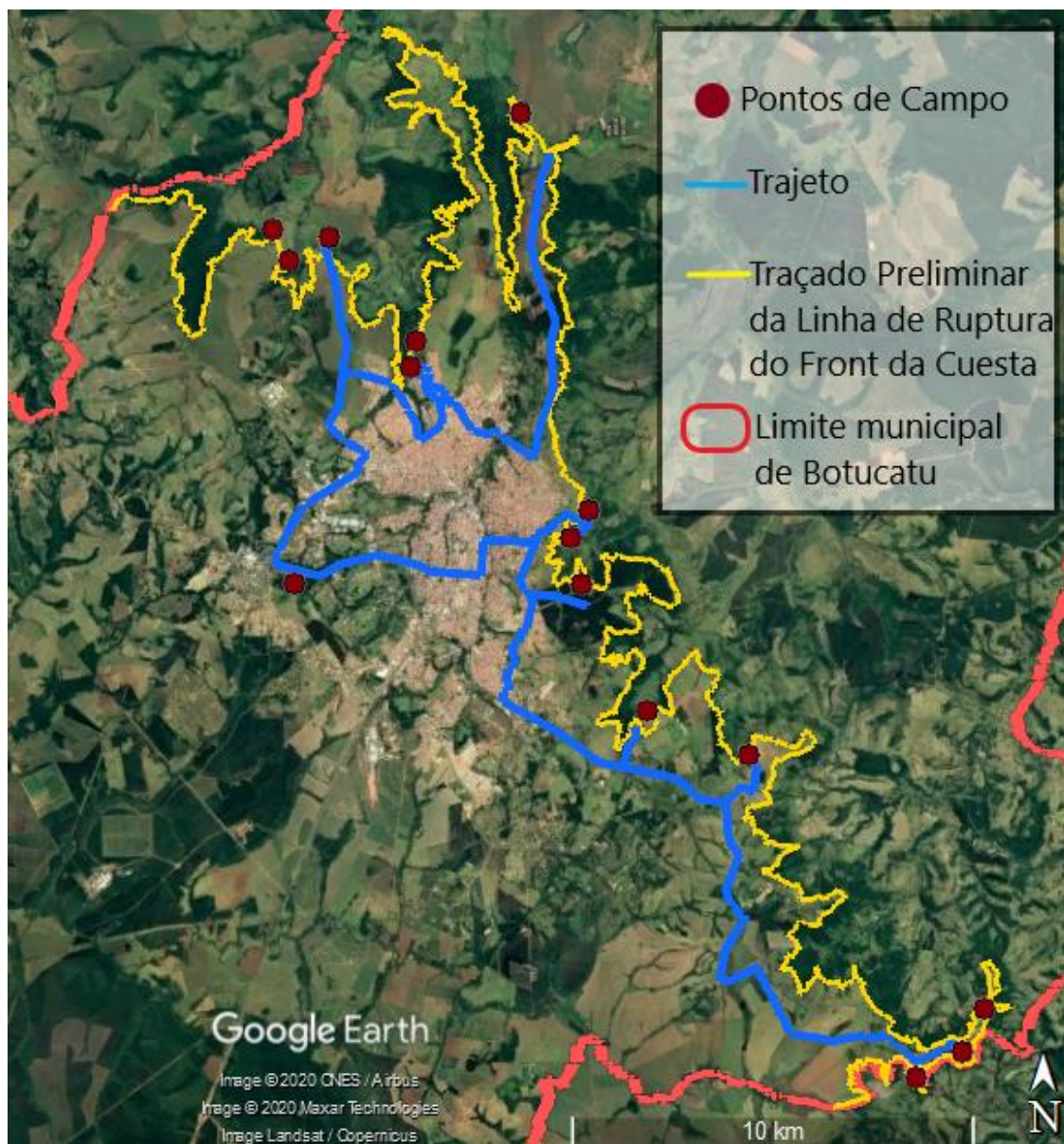


Fonte: os autores

Trabalhos de campo

Como o *front* não apresenta uma morfologia homogênea, podendo caracterizar-se como desmantelado, desdobrado ou mesmo tresp dobrado (AB'SABER, 1998), assim como apresentar patamares estruturais, no processo de delimitação preliminar da linha de ruptura do relevo foram identificados pontos para serem avaliados em campo (Figura 3), que foram visitados a fim de sanar dúvidas quanto às singularidades locais da estrutura. Dessa forma, os dados coletados *in loco* possibilitaram a correção do traçado preliminar da linha de ruptura.

Figura 3: Localização dos pontos reambulados em campo



Fonte: Google Earth. Org.: Os autores.

Mapa da Faixa de Proteção de 250 metros do reverso da Cuesta de Botucatu (SP) (Lei Complementar 1224/2017)

Com a delimitação da linha de ruptura do relevo, realizada segundo os procedimentos descritos anteriormente, a faixa foi elaborada utilizando-se a ferramenta *Buffer*, a qual possibilita a criação de uma margem a uma distância constante da feição escolhida. No campo *Distance* foi selecionado o valor de 250m, correspondente à largura da

faixa desejada, e no campo *Side Type* selecionou-se a opção *RIGHT*, uma vez que a faixa deve ser posicionada apenas do lado do reverso.

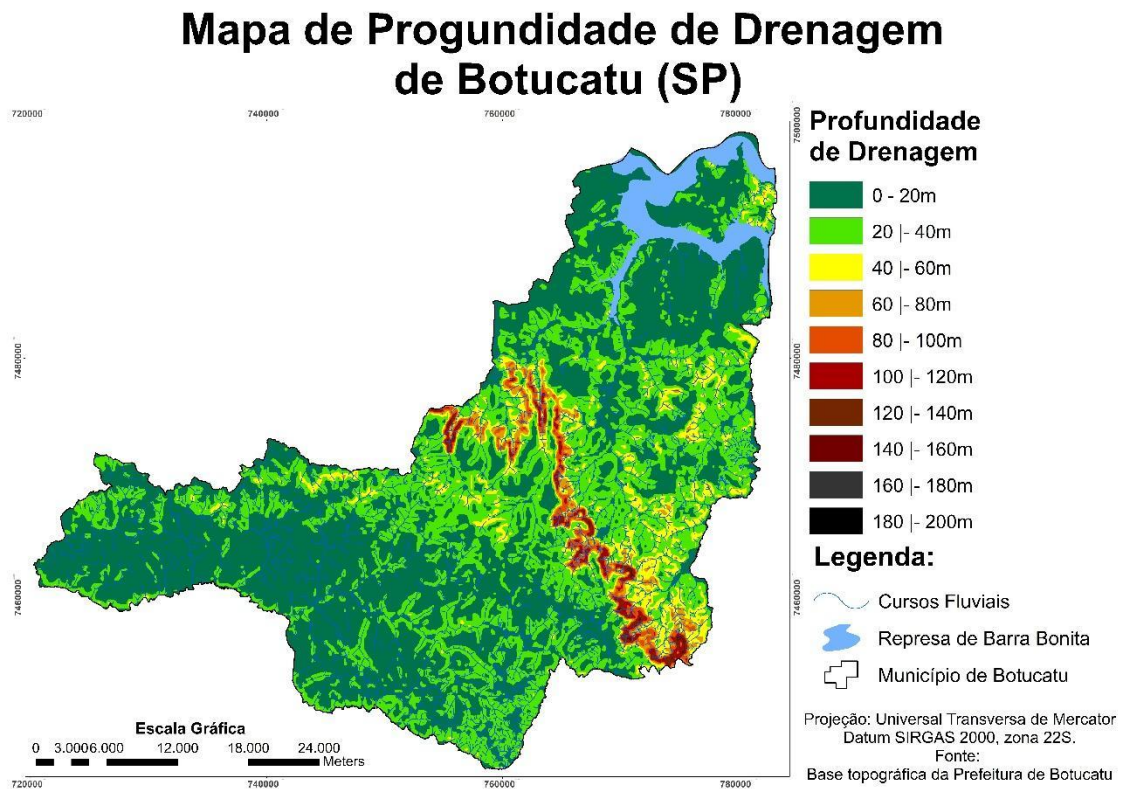
Em seguida, a área do município foi recortada para a elaboração do mapeamento final buscando destacar a faixa e as regiões em sua proximidade. Dessa forma, a área representada está limitada a oeste pelos divisores de água que separam a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)¹⁰ (Tietê/Sorocaba), na qual a área está inserida, da UGRHI 17 (Médio Paranapanema) (IGC, 2014), e a nordeste pelos divisores de água do Córrego Lavapés e do Rio Capivara, até a foz destes na represa de Barra Bonita. Dessa forma, a área do mapeamento corresponde à porção do município que engloba as drenagens anaclinais, desde suas nascentes no reverso, cruzando o *front*.

A elaboração do mapa final conta também com as informações sobrepostas à imagem orbital do sistema *Sentinel-2*, do dia 22/10/2018, com o objetivo de possibilitar uma relação entre as áreas de proteção ambiental com o uso e ocupação da terra no período atual. As imagens foram obtidas na plataforma online da United States Geological Survey (USGS): earthexplorer.usgs.gov, e tem resolução espectral de 16 bits e resolução espacial de 10 metros.

Resultados e Discussão

Os mapeamentos morfométricos foram de fundamental importância nesse estudo pela capacidade de identificação da posição do *front* da *cuesta*. O mapa de profundidade de drenagem (Figura 4) possibilitou identificar uma faixa contínua e sinuosa que cruza a porção central do município, de NW para SE, com altos valores de profundidade de dissecação, representados pelos tons alaranjados e avermelhados, atestando para o único grande acidente topográfico do município, separando os relevos suaves da Depressão Periférica a NE do reverso *cuestiforme* a SW. Apesar deste não ser um documento eficiente para uma análise detalhada do *front* e suas morfologias, foi de grande valor para a primeira aproximação da faixa de proteção.

Figura 4: Mapa de Profundidade de Drenagem de Botucatu (SP).

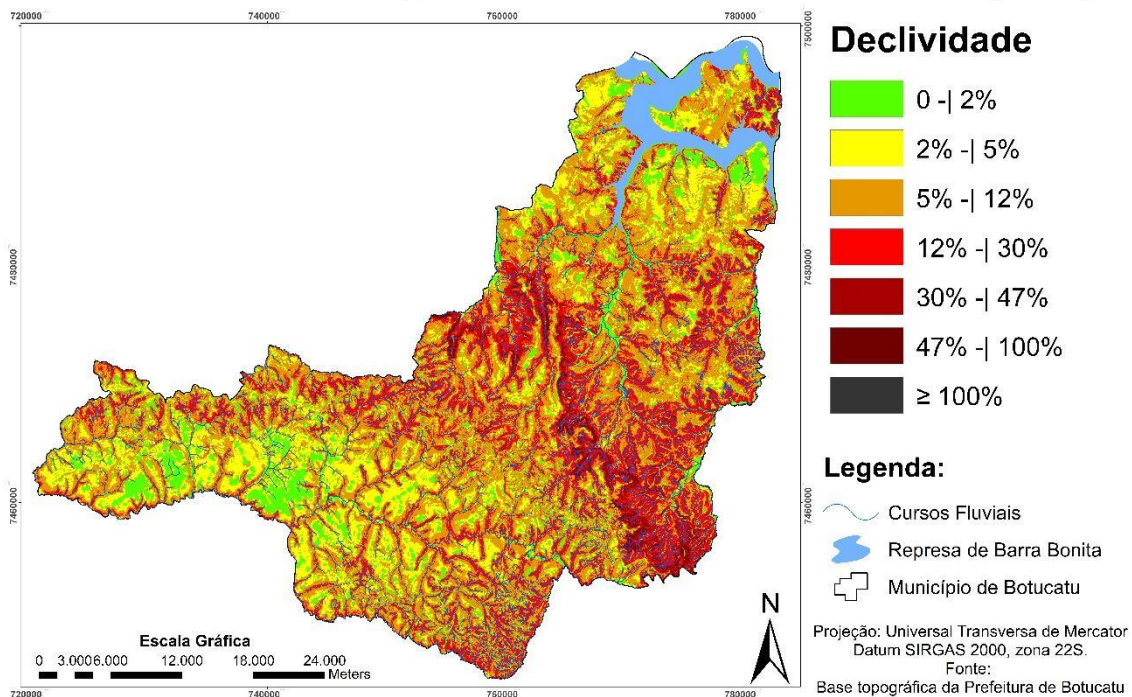


Fonte: os autores.

O mapa clinográfico (Figura 5) também apresentou uma faixa com altos valores na mesma posição que o mapa de profundidade de dissecação (Figura 4), contribuindo para a identificação da posição do *front*. Apesar de haverem outros locais onde também são identificados altos valores de declividade, estes estão associados a vales fluviais e indicam características locais, não o grande degrau contínuo do relevo cuestasiforme. Além disso, esse mapeamento auxilia também em uma maior precisão na identificação das morfologias do *front* na busca pela linha de ruptura do relevo, uma vez que é possível identificar os locais de maiores declividades, que correspondem às cornijas, separando-os dos de declividades menos acentuadas, que correspondem ao tálus.

Figura 5: Mapa Clinográfico de Botucatu (SP).

Mapa Clinográfico de Botucatu (SP)

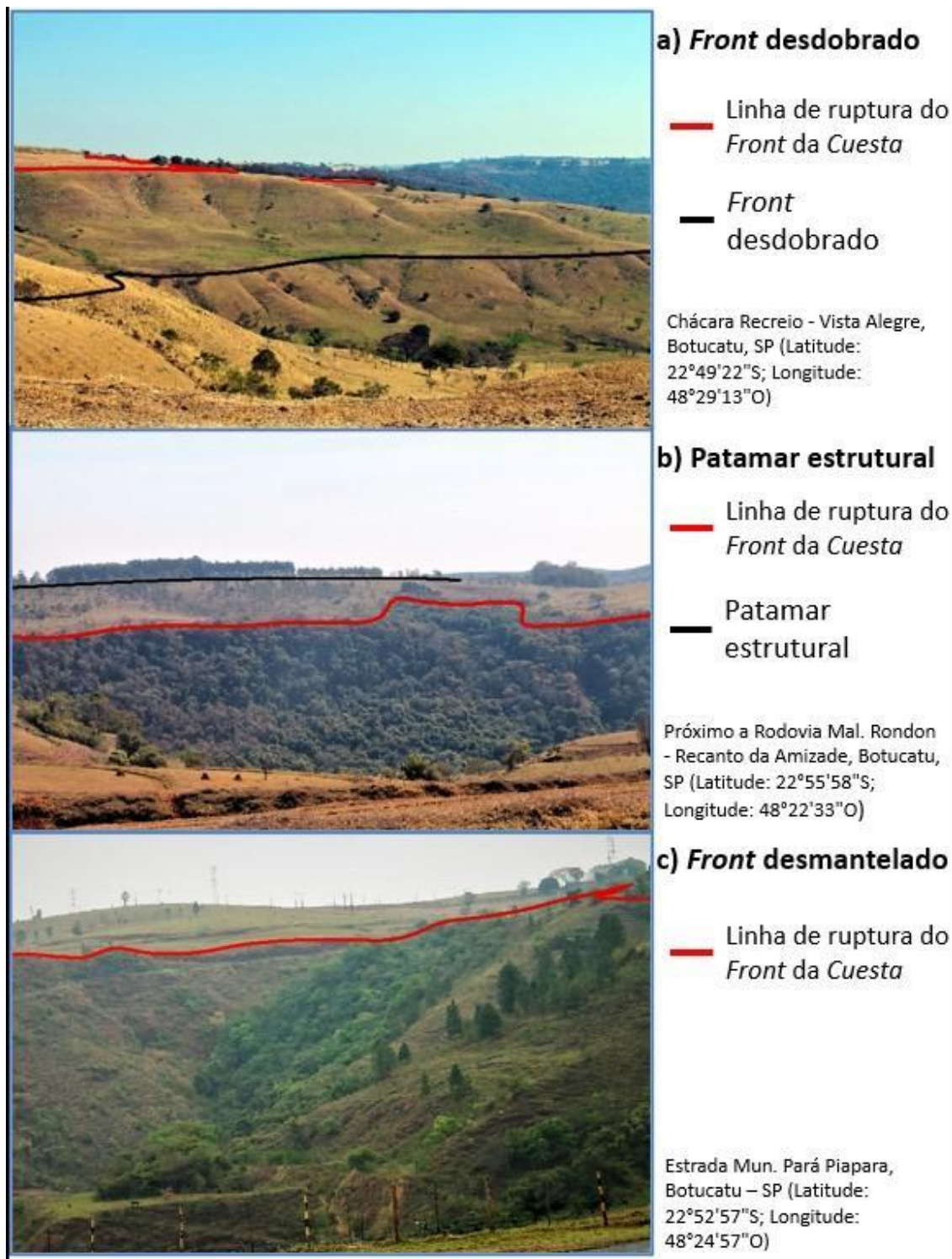


Fonte: Os autores

A identificação da posição do front guiou o procedimento de fotointerpretação das ortofotos digitais a fim de determinar a linha de ruptura do relevo. Essa análise detalhada das imagens sobre as áreas indicadas pelos mapas morfométricos possibilitou identificar os pontos de ruptura de forma quase contínua, apesar dos locais de complexidade morfológica e estrutural que o relevo cuestiforme em Botucatu possui, podendo apresentar-se desdobrado (Figura 6a), estar próximo a patamares estruturais de reverso (Figura 6b) ou desmantelado (Figura 6c).

Os trabalhos de campo foram, portanto, uma etapa fundamental no processo para assegurar a precisão do mapeamento. Mesmo com a complexidade e as variações dessa morfologia, foi possível definir a posição da linha de ruptura do relevo, o que possibilitou a delimitação da faixa de proteção de 250 metros no reverso da cuesta (Figura 7).

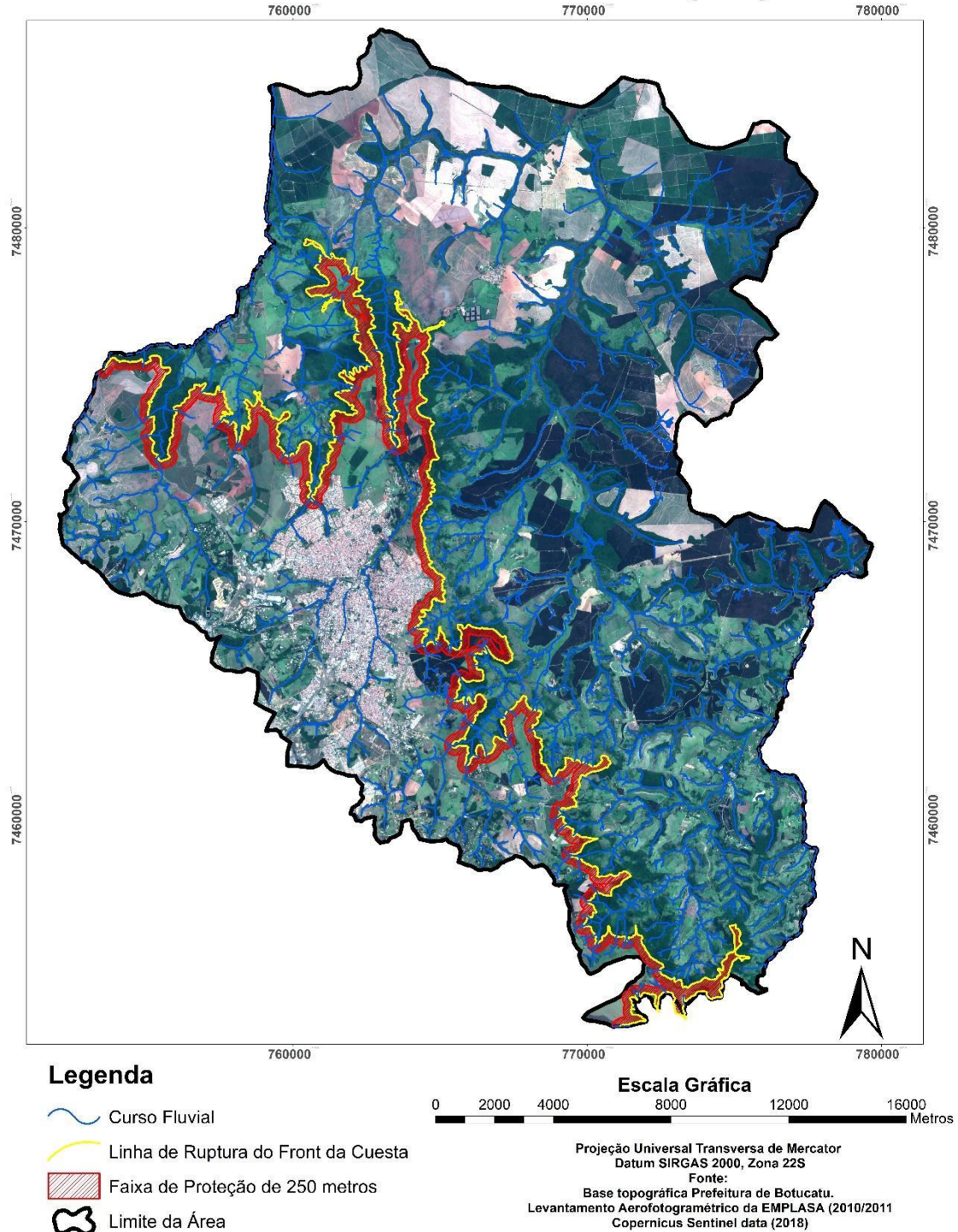
Figura 6: Características do *front* da *cuesta* em Botucatu (SP).



Fonte: Os autores, 2018.

Figura 7: Mapa da Faixa de Proteção de 250 metros do reverso da Cuesta de Botucatu (SP) *cuesta*.

Faixa de Proteção de 250 metros do reverso da Cuesta de Botucatu (SP)

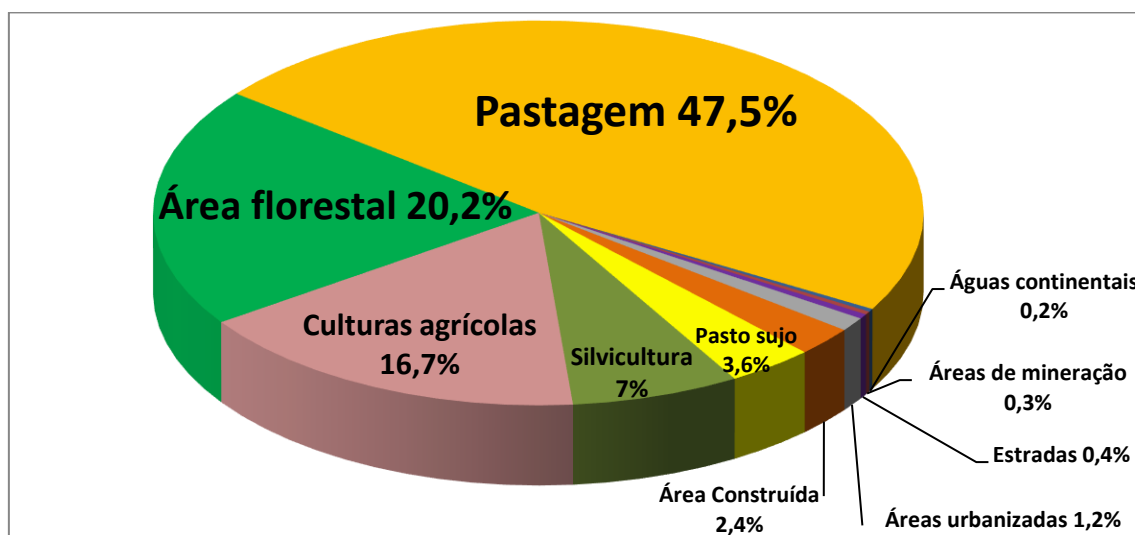


Fonte: Os autores.

A faixa de proteção de reverso tem uma área 2.860,3 ha. e cruza a porção central do município, atravessando áreas rurais e também estando bem próxima à malha urbana (Figura 7). É possível observar a proximidade da malha urbana, em suas áreas de expansão a norte e oeste de cidade, com a linha de ruptura do relevo e a faixa de proteção de reverso.

Os tipos de uso e ocupação da terra sobre a faixa contam com atividades agropecuárias, áreas de vegetação natural e áreas de uso e ocupação de maior impacto, como estradas e a malha urbana consolidada (Gráfico 1).

Gráfico 1: Uso e ocupação da terra na faixa de proteção de 250 metros no reverso da *Cuesta* de Botucatu (SP).



Fonte: Os autores.

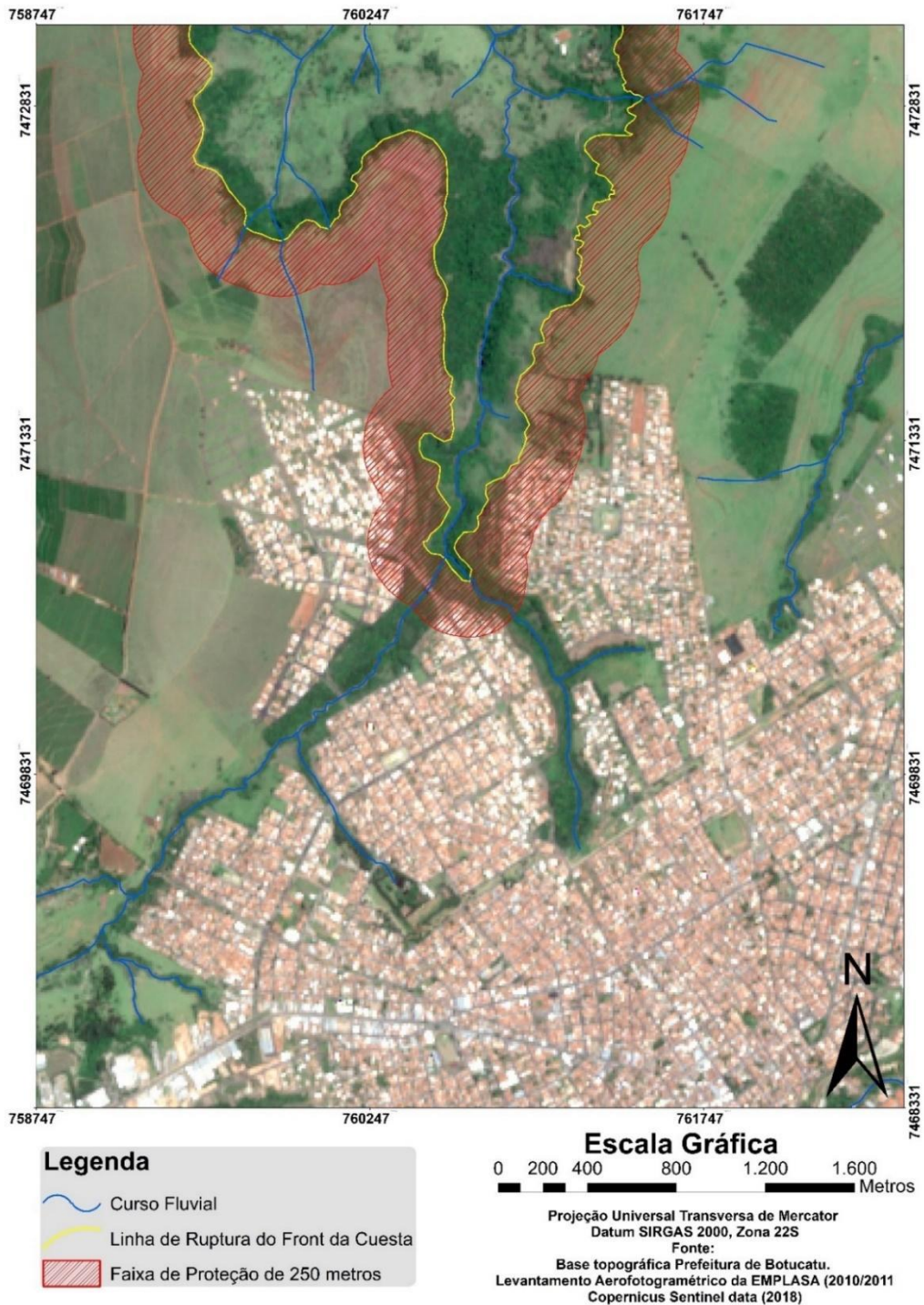
Nota-se que a pecuária representa a maior extensão de uso e ocupação sobre a faixa de reverso, com a classe pastagens correspondendo a 47,5% da área da faixa, assim como as atividades agrícolas, com expressivos 16,7% desse valor (Gráfico 1). As áreas urbanizadas, apesar de não estarem entre as coberturas de maior expressão (1,2%), totaliza 33,3 ha sobre a faixa de proteção de reverso (Figura 8), o que, além dos impactos que este tipo de ocupação pode acarretar sobre o *front*, traz risco para a população que habita esta área de fragilidade.

Essa fragilidade se deve às características geológicas que sustentam a *cuesta*, marcadas por uma camada inferior mais friável, neste caso os arenitos Botucatu, abaixo da camada superior resistente (basaltos e arenitos silicificados), responsável por sustentar o reverso (Figura 9). Esta dinâmica erosiva, característica do relevo *cuestiforme*, faz com que a retirada de material do setor inferior acarrete em desmoronamentos dos terrenos de reverso

Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 2, p. 75-96, mês mai-ago, 2021.

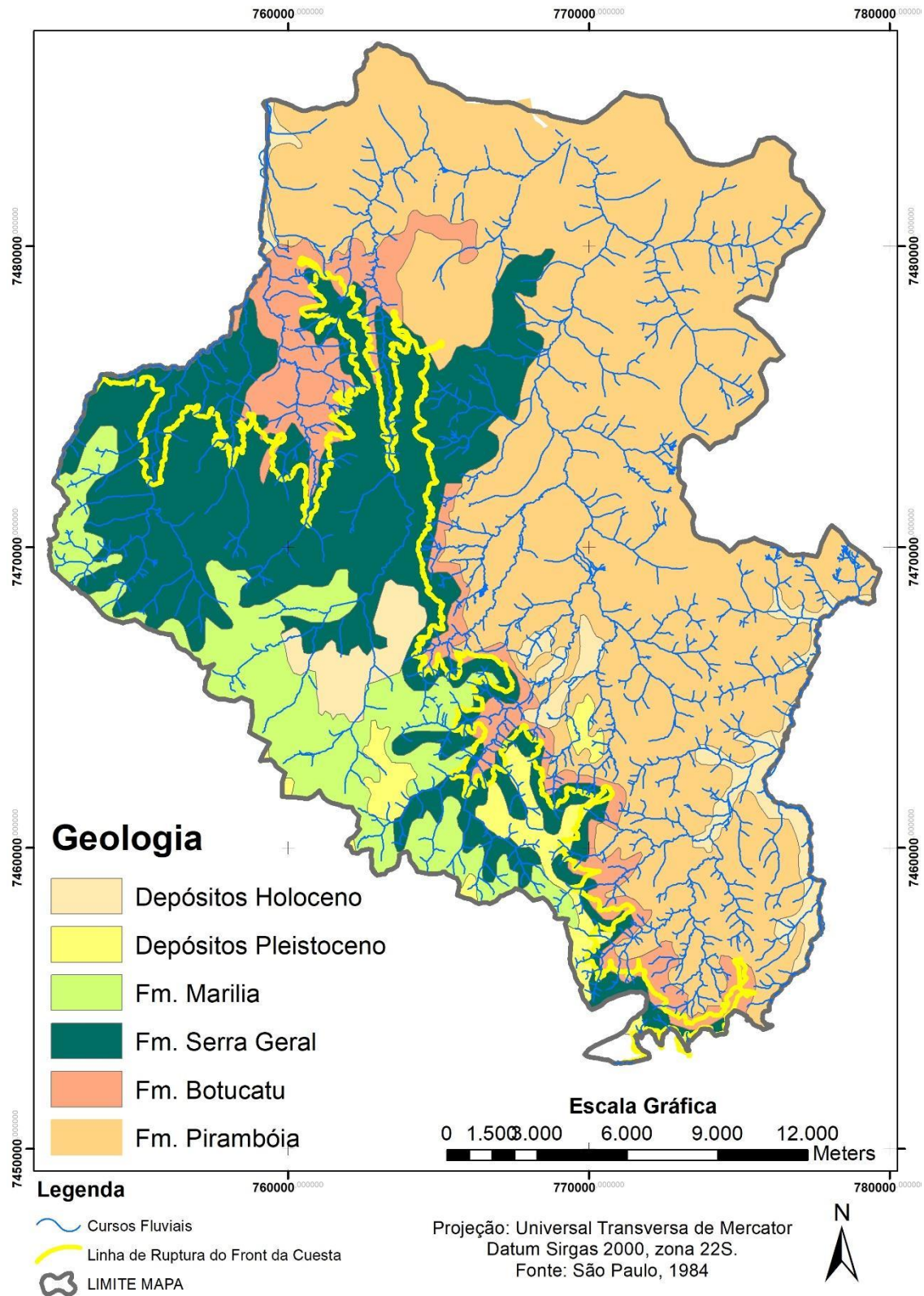
próximos ao limite de ruptura, caracterizando o processo de solapamento basal (PENTEADO, 1983), o que atribui a característica de instabilidade a essas áreas.

Figura 8: Recorte do mapa da Faixa de Proteção de 250 metros do Reverso da Cuesta de Botucatu (SP) na região dos bairros Jardim Monte Mor, Jardim Iolanda, Jardim Itamarati, Jardim Cambuí e Residencial Ouro Verde – Botucatu (SP).



Fonte: Os autores.

Figura 9: Litologias da área de estudos.



Fonte: São Paulo (1984).

A bibliografia nacional aponta uma série de estudos a respeito de conflitos no uso e ocupação da terra em áreas de proteção ambiental, independente da categoria: UCs, APPs, dentre outras. Um exemplo do caso em Botucatu foi detectado por Campos et al. (2015) na bacia do Rio Capivara, a qual conta com conflito em relação ao uso e ocupação em 39,07% das áreas de APP. Esses dados alertam para a deficiência do poder público em fazer cumprir a legislação ambiental em diversos casos. Dessa forma, a instrumentalização dessas instituições com materiais e técnicas que auxiliem na implementação e fiscalização das áreas com restrições legais ao uso e ocupação é uma etapa fundamental para a defesa do meio ambiente.

Porém, para além dos limites de Botucatu, Ross (1996) afirma que o relevo de *cuestas* é encontrado em vastas áreas do território nacional, no planalto da Amazônia oriental, ao norte em seu contato com a depressão marginal norte-amazônica e também em seu limite sul no contato com a depressão marginal sul-amazônica; nos planaltos e chapadas da bacia do Parnaíba, nos limites sul e oeste; nos planaltos e chapadas da bacia do Paraná em todo seu contato com as depressões circundantes; no contato com a depressão do Miranda, depressão Cuiabana, depressão do Araguaia, depressão periférica da borda leste da bacia do Paraná e a depressão periférica sul-rio-grandense; nos limites leste e sul do planalto e chapada dos Parecis (ROSS, 1996).

Desta forma, faz-se necessário uma expansão de trabalhos relacionados à preservação do relevo *cuestiforme*. O novo Código Florestal (Lei 12.651/2012), apesar de não citar os relevos de *cuesta*, no artigo 4º caracteriza como Área de Preservação Permanente (APP) “VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais”, formados por processos erosivos análogos a essas formas.

De acordo com Martins et al. (2015), os parâmetros oficiais que definem os conceitos de chapadas são excessivamente criteriosos, fazendo com que o Código Florestal (2012) se aplique a áreas muito restritas quando comparadas à realidade nacional. Entretanto, é possível afirmar que o reverso das Cuestas Paulistas se enquadra nos padrões da legislação, já que estes correspondem a terrenos de baixos declives delimitados por escarpas íngremes, com altitudes superiores a 600 metros em sua maioria.

Ainda, é importante salientar que estas são regiões apresentam dinâmica evolutiva natural associada ao desenvolvimento de processos denudativos no *front* e no setor de sopés. Assim, a preservação do reverso é importante para garantir a estabilidade do conjunto do relevo, já que os processos denudativos são dinamizados pelo declive do front cujo recuo pode ocorrer de forma acelerada, inclusive por movimentos de massa.

Considerações Finais

O desenvolvimento de procedimentos para cartografar as faixas de proteção de reverso da *cuesta* é de grande valor às instituições encarregadas da preservação dessas estruturas. Os dados de uso e ocupação da terra levantados nessa pesquisa, sobre uma área classificada como “de Utilidade Pública” e “Zona Especial de Proteção Ambiental” pela legislação municipal, demonstram a dificuldade do poder público na implementação da faixa de proteção de reverso com a finalidade de conservar o relevo de *cuesta*. Esse fato alerta para a importância da identificação das áreas enquadradas nas disposições legais sobre o relevo *cuestiforme*, e de materiais cartográficos na delimitação dessas áreas.

Por fim, a elaboração de mapas com a finalidade de demarcação dessas regiões é uma atividade complexa devido às características do relevo *cuestiforme*. Entretanto, o bom manejo de técnicas de geoprocessamento, trabalhos de campo e o conhecimento geomorfológico da feição e da região, possibilitam o desenvolvimento de materiais que podem ser aplicados às mais diversas áreas de relevos de *cuestas*. Os procedimentos utilizados para a elaboração do mapa da faixa de proteção de reverso em Botucatu conta com técnicas morfométricas, que possibilitaram quantificar aspectos do relevo, assegurando o critério utilizado, assim como imagens de alta resolução espacial, que aliadas aos trabalhos de campo, permitiram, segundo verificação *in loco*, boa qualidade do material produzido. Dessa forma, destaca-se também a necessidade de bases cartográficas digitais em escala de detalhe e de produtos de sensoriamento remoto de boa qualidade para viabilizar os procedimentos apresentados.

Além disso, visto a distribuição dos relevos *cuestiformes* no Brasil, entende-se que o desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento aplicadas a identificação de áreas de proteção ambiental sobre estes relevos é necessário em uma escala nacional. Apesar do caráter local do estudo desenvolvido, acredita-se que as técnicas utilizadas possam ser estendidas a outras regiões das Cuestas Paulistas, devido a sua morfodinâmica característica,

assim como sobre outras regiões *cuestas*, com possíveis adaptações a depender das características do relevo local.

Referências

- AB'SABER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5–38, 1956.
- AB'SÁBER, A. N. Megageomorfologia do Território Brasileiro. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. cap. 2, p. 71-106.
- AB'SABER, A. N. Regiões de Circundesnudação Pós-Cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo n. 1, p. 3–21, 1949.
- AGUILAR, R. L.; CUNHA, C. M. L. Análise morfoestrutural de um setor da Serra da Atalaia, Analândia/Corumbataí (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 5, p. 1410–1434, 2015.
- ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974. 109p. (Série Teses e Monografias, n. 14).
- BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 mai. 2012.
- BRASIL. **Decreto-lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília: Presidência da República, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm. Acesso em: 03 jul. 2019.
- BOTUCATU. **Lei Complementar Nº 1224/2017**. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Botucatu e dá outras providências. Botucatu: Prefeitura Municipal, 2017. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-botucatu-sp>. Acesso em: 03 jul. 2019.
- BOTUCATU. **Lei Orgânica do Município de Botucatu de 05 de Abril de 1990**. Botucatu: Câmara Municipal de Botucatu, 1990. Disponível em http://www.camarabotucatu.sp.gov.br/portalexv/ri_lomb/leiorganica.pdf. Acesso em: 03 jul. 2019.
- CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; GOBB, T. T. A. Espacialização do conflito de uso da terra em Áreas de Preservação Permanentes na bacia do rio Capivara - Botucatu/SP. In: CAMPOS, S, PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, M. **Geotecnologia aplicada no planejamento ambiental de bacias hidrográficas**. Tupã: ANAP, 2015. cap 8. p 91-113.
- CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora UFG, 1994. 137p.
- DE BIASI, M. A Carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.
- DEN EECKHAUT, M. VAN; MARRE, A.; POESEN, J. Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne-Ardenne region (France). **Geomorphology**, v. 115, n. 1–2, p. 141–155, 2010.
- GOBIN, A. M. et al. Soil erosion assessment at the Udi-Nsukka Cuesta (southeastern Nigeria). **Land Degradation and Development**, v. 10, n. 2, p. 141–160, 1999.
- HUBP, J. I. L. **Elementos de Geomorfologia Aplicada: Metodos Cartograficos**. México D.F.: Universidad Nacional Autonoma de México, 1988. 128 p.
- ICG. **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI**. São Paulo: IGC, 2014. 1 mapa, color. 1: 1.000.000.

IPT. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981a.v. 1.

IPT. **Mapa geológico do estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981b. v.1.

KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; SALOMÃO, F. X. T.; GOUVEIA, M. I. F. Mapa de erosão do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 16, n. especial, 1995.

MARTINS, F. P.; SALGADO, A. A. R.; DO CARMO, F. F.; MAFFRA, M. A. As Chapadas Brasileiras e a Legislação Ambiental: Conflito De Conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 387–398, 2015.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1983. 186p.

ROSS, J. L. Sanches (org.). **Geografia do Brasil.** São Paulo: EdUSP, 1996. 546p.

SÃO PAULO (Estado). **Plano de Manejo da APA Corumbataí, Botucatu e Tejuapá:Perímetro Botucatu.** São Paulo: Fundação Florestal, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/2016/03/Volume-1-Diagn%C3%B3stico.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Obras e do Meio Ambiente. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Universidade Estadual Paulista. **Folha Geológica de Bauru (SF-22-Z-B):** Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1984. Escala 1:250.000.

SHEEHAN, C. E.; WARD, D. J. Late Pleistocene talus flatiron formation below the Coal Cliffs cuesta, Utah, USA. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 9, p. 1973–1992, 2018.

SCHMIDT, K. H.; BEYER, I. High-magnitude landslide events on a limestone-scarp in central Germany: Morphometric characteristics and climatic controls. **Geomorphology**, v. 49, n. 3–4, p. 323–342, 2002.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Características morfoestruturais do relevo em setor de cuestas: um estudo em Analândia (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9 n. 4, p. 70–84, 2016.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Análise da dinâmica erosiva presente no setor cuestasiforme de Analândia (SP). In: **ENANPEGE. Anais...**Porto Alegre: 2017

TORRES, F. T. P.; MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. O. **Introdução à Geomorfologia.** São Paulo: Cenage Learning, 2012.

Submetido em: março de 2020.

Aceito em: novembro de 2020.