

Artigo de Pesquisa

O desenvolvimento de feições erosivas lineares em região de relevo de *cuestas*

The development of erosive features in cuesta relief regions

Rafael Vilela de Andrade ¹, Cenira Maria Lupinacci ²

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental, Campus de Rio Claro-SP, Brasil. E-mail: rafael.vadr@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7205-4524>

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental, Campus de Rio Claro-SP, Brasil. E-mail: cenira.lupinacci@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4732-1421>

Recebido: 07/05/2024; Aceito: 05/03/2025; Publicado: 04/05/2025

Resumo: o relevo de *cuestas* se caracteriza pelas altas declividades, presença de depósitos coluvionares e intensa dinâmica evolutiva, tornando a região especialmente propensa a degradação dos solos. Este estudo buscou identificar como o relevo, litologia e solos influenciam na ocorrência de processos erosivos lineares, que dão origem aos sulcos, ravinas e voçorocas, em ambiente de *cuesta*. Para isso, mapeou-se a densidade de feições erosivas lineares dos anos de 1972 e 2010/2011, o qual foi cruzado com o mapeamento das feições morfológicas da Cuesta em Botucatu, também elaborado nesse estudo, e mapas litológicos e de solos de fontes secundárias. As análises quantitativas e qualitativas identificaram concentrações de voçorocas no reverso cuestiforme, nas cabeceiras de drenagem, próximas a contatos litológicos e sobre Latossolos Vermelhos e Vermelho Amarelo. No *front*, foram identificadas concentrações de sulcos, ravinas e pequenas voçorocas, dinamizadas pelo declive mais acentuado, coberturas coluvionares, e transições entre litologias e solos heterogêneos. Os dados demonstraram que os contatos e transições litológicas e pedológicas, típicas das regiões de *cuestas* em razão da alta geodiversidade, são fatores que potencializam a dinâmica erosiva e devem ser consideradas no ordenamento territorial a fim de preservar os solos e demais recursos naturais dessas regiões.

Palavras-chave: Dinâmica erosiva; relevo cuestiforme; contatos litológicos; cruzamentos cartográficos.

Abstract: the *cuestas* relief is characterized by its high slopes, colluvial deposits and intense dynamic, making the region especially prone to soil degradation. This study intends to identify how the relief, lithology and soils, influence the occurrence of linear erosion processes of hill erosion, ravines and gullies in the *cuestas* environments. For that, maps of the density of linear erosive features of 1972 and 2010/2011 were made, and then analyzed in comparison with the morphological features of the Cuesta in Botucatu map, also prepared in this study, and lithological and soil maps from secondary sources. Quantitative and qualitative analysis identified concentrations of gullies in the *cuesta* reverse, at drainage headwaters, close to lithological contacts and over latosols. On the *cuesta* front, concentrations of hills, ravines and small gullies were identified, driven by the steep slope, colluvial covers, and transitions of heterogeneous lithologies and soils. The data demonstrated that lithological and pedological transitions, typical of *cuestas* regions due to high geodiversity, in addition to other conditions, are factors that enhance erosive dynamics and must be considered in territorial planning in order to preserve soils and other natural resources of these regions.

Keywords: Erosive dynamics; *cuesta* relief; lithological contacts; cartographic relationships

1. Introdução

As *cuestas* caracterizam-se como um relevo dissimétrico, esculpido por processos denudativos, identificado em diversas regiões do Brasil e do mundo em bacias sedimentares com camadas sub-horizontais heterogêneas (PENTEADO, 1983; SCHIMIDT, 1989). O processo evolutivo destas estruturas ocorre em razão da menor resistência da camada inferior, que leva à erosão mais acelerada da base, ocasionando no solapamento da formação superior mais resistente. Dessa forma, o relevo *cuestiforme* evolui por processos de erosão diferencial, recuando lateralmente sem que haja um rebaixamento generalizado do reverso. Morfologicamente, a *cuesta* se divide entre a Depressão Ortoclinal, que corresponde à porção rebaixada pela erosão; o reverso, que corresponde à porção mais elevada do relevo, sustentada pela formação superior mais resistente; e o *front*, que corresponde à frente de erosão e é marcado por altas declividades, fazendo a transição entre os terrenos rebaixados da depressão e os elevados do reverso (PENTEADO, 1983).

Em razão de suas características morfodinâmicas, diversos estudos internacionais e nacionais apontam para uma alta suscetibilidade das regiões de relevos *cuestiformes* a processos geomorfológicos variados, a depender das características litoestruturais e climáticas de cada região. Schmidt; Bayer, (2002); Den Eeckhaut; Marre; Posen, (2010) Sheehan; Ward, (2018) relatam a ocorrência de deslizamentos de terras e quedas de blocos em *cuestas* localizadas na Alemanha, França e Estados Unidos, respectivamente. Já Gobin *et al* (1999), Silva e Lupinacci, (2021) e Stefanuto *et al* (2022) associam regiões de relevo *cuestiforme* a processos erosivos lineares acelerados em *cuestas* na Nigéria e Brasil, respectivamente.

Dessa forma, entende-se que variações litológicas, altas declividades e presença de depósitos coluvionares, típicos de regiões de relevo de *cuestas*, podem tornar estas áreas especialmente sensíveis a processos geomorfológicos e degradação ambiental. Vale acrescentar que, apesar dos processos citados estarem associados a dinâmica evolutiva natural dessas estruturas, a bibliografia aponta uma intensificação destes processos com atividades humanas, em especial o uso da terra. Além disso, processos geomorfológicos, como a erosão acelerada dos solos, por exemplo, são graves do ponto de vista socioambiental, comprometendo a produção agrícola e infraestruturas urbanas, contribuindo com o assoreamento de corpos d'água e com a emissão de carbono na atmosfera (MONTGOMERY, 2007; GOUDIE, 2013; LABRIÈRE *et al.*, 2015). Por esse motivo entende-se que o conhecimento a respeito da dinâmica geomorfológica do relevo *cuestiforme* e a identificação dos setores mais sensíveis a degradação por processos geomorfológicos, com destaque para os de erosão linear acelerada, é fundamental para subsidiar o planejamento do uso da terra nestas regiões.

Em face desta problemática, o objetivo deste artigo é discutir de que forma as características físicas, como o embasamento litológico, os solos e a morfologia do relevo de *cuestas*, potencializam processos erosivos acelerados, em específico a ocorrência de feições erosivas lineares. Para obter dados que permitam atingir tal objetivo, foi selecionada como área de estudo bacias hidrográficas que drenam o setor *cuestiforme* do Município de Botucatu (SP). Considera-se que este constitui um setor representativo do contexto regional deste sistema de relevo, podendo contribuir de forma significativa para o entendimento das Cuestas Basálticas do estado de São Paulo. Entende-se que a análise das feições erosivas lineares, que consistem em formas que registram os processos de erosão acelerada de solos, possibilitam avançar no entendimento da dinâmica erosiva em regiões do relevo de *cuestas*.

Para realizar esta análise, foi elaborado o mapeamento da densidade de feições erosivas lineares em dois cenários (1972 e 2010), o que possibilitou identificar os terrenos mais fortemente atingidos por esta dinâmica. Em seguida, esses dados foram cruzados com mapeamentos do embasamento litológico, de solos e das feições morfológicas do relevo *cuestiforme*, a fim de identificar como estes elementos influenciam a dinâmica erosiva linear na área de análise.

2. Área de Estudo

Trata-se de um fragmento do município de Botucatu, no interior do estado de São Paulo, que abriga uma área de relevo de *cuestas* (Figura 1a e b). O recorte espacial analisado localiza-se entre as latitudes 22°42'30"S e 23°0'33"S e longitudes 48°17'22"O e 48°32' 48"O e corresponde a trechos de quatro bacias hidrográficas anaclinais, que tem sua nascente no reverso *cuestiforme* e fluem em direção à Depressão Periférica. As bacias analisadas correspondem a trechos da área de drenagem do rio Araquá, Lavapés, Capivara e Alambari. A área selecionada abriga todos os compartimentos do relevo *cuestiforme*, desde o reverso à Depressão Periférica (Figura 1c).

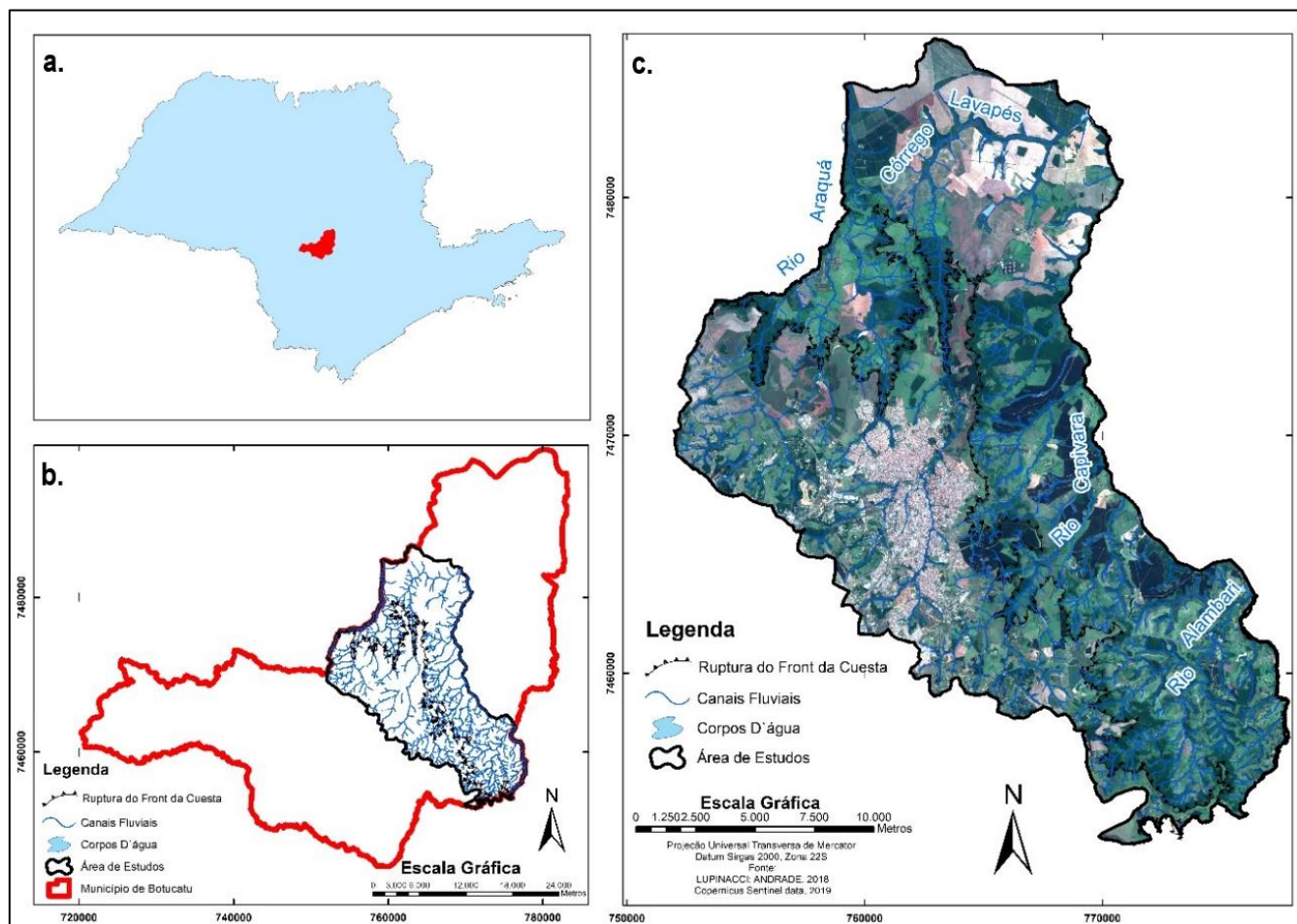


Figura 1. Localização da Área de estudo. Em a, apresenta-se o estado de São Paulo; em b, o limite do município de Botucatu e, em c, a área de estudo.

Tal área está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná e representa um fragmento da paisagem paulista. As chamadas Cuestas Paulistas, objeto desta pesquisa, cruzam todo o estado de São Paulo no Sentido NNE-SSW, separando os terrenos da Depressão Periférica Paulista, esculpida por processos de circundenudação (AB'SABER, 1949), do Planalto Ocidental (AB'SABER, 1956; ALMEIDA, 1974; ROSS; MOROZ, 1997). O decaimento estratigráfico das formações da Bacia Sedimentar do Paraná no sentido NW, orienta o sistema de drenagem superimposto, os rios chamados de grandes consequentes: Grande, Tietê e Paranapanema. O sistema de drenagem estabelece o nível de base para o rebaixamento generalizado da região, executado especialmente por seus tributários. As Cuestas Paulistas marcam a paisagem do interior do estado como feições residuais que se destacam pelos maiores desníveis altimétricos e foram esculpidas pela erosão mais acelerada dos arenitos da Formação Botucatu em comparação aos derrames basálticos e arenitos silicificados sobrepostos a esta da Formação Serra Geral (AB'SABER, 1956; ALMEIDA, 1974).

Com relação ao embasamento litológico, São Paulo (1984) identifica na área de estudo (Figura 2) a Formação Pirambóia, formada por arenitos fluviais e eólicos médios a finos, de coloração esbranquiçada, alaranjada ou avermelhada (Figura 3a), do período Neotriássico (PERROTA *et al*, 2005), localizada na Depressão Periférica. A Formação Botucatu, que se caracteriza por arenitos eólicos médios a finos, róseos (Figura 3b), do período Jura-Cretáceo (MILANI *et al*, 2007), localizada principalmente próxima ao *front* *cuestiforme* (Figura 2). A Formação Serra Geral, composta por derrames basálticos (Figura 3c) e arenitos intertrapeados também do período Jura-Cretáceo (MILANI, *et al*, 2007), localizada próxima ao *front* e no reverso *cuestiforme*. Formação Marília, constituída por arenitos grosseiros, de coloração creme e vermelha (Figura 3d) do período Cretáceo. Além destas, São Paulo (1984) identifica também depósitos coluviais do Plioceno-Pleistoceno, compostos por “areias de matriz argilosa; cascalhos de limonita e quartzo na base” e depósitos aluviais do Holoceno, compostos por areias, argilas e cascalhos na base, ambos manifestando-se tanto em áreas da Depressão Periférica, como do reverso *cuestiforme* (SÃO PAULO, 1984).

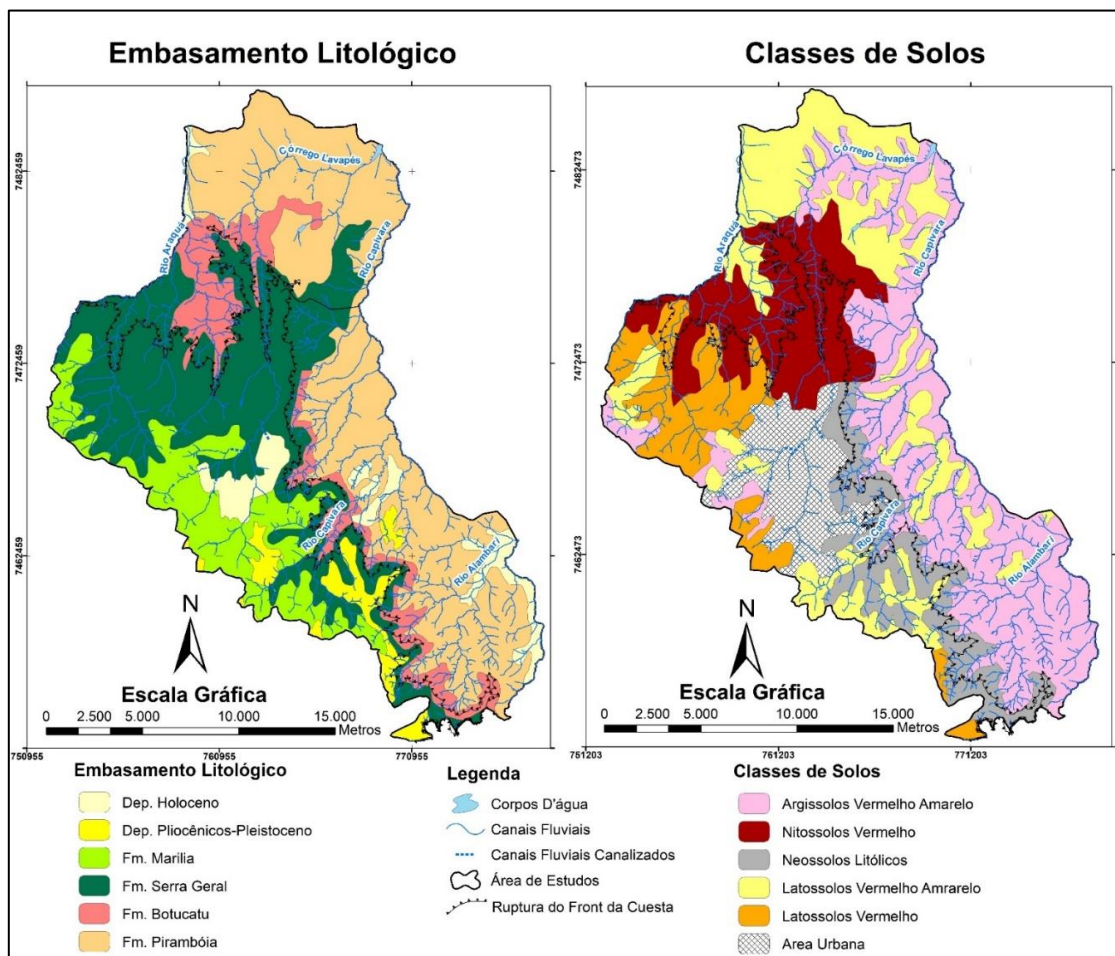


Figura 2. Embasamento Litológico e Classes de Solos da Área de Estudo. Fonte: Adaptado de São Paulo, 1984; Rossi, 2017



Figura 3. Formação Pirambóia (a); Formação Botucatu (b); Formação Serra Geral (c); Formação Marília (d). Fonte: Os Autores

O embasamento litológico diversificado dá origem a distintas classes de solos identificados na área de estudo por Rossi (2017) e apresentados na Figura 2. O autor aponta a ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelo na Depressão Periférica e reverso, coincidindo com o embasamento dos arenitos Pirambóia e Marília, estes caracterizam-se pelo horizonte A moderado ou fraco e textura arenosa/média. Os Latossolos Vermelho-Amarelo são identificados tanto na Depressão Periférica como no reverso e possuem horizonte A moderado ou fraco e textura média (ROSSI, 2017). Os Latossolos Vermelhos são identificados principalmente no reverso cuestiforme sobre o embasamento das formações Serra Geral e Marília e possuem textura média. Próximo ao *front* cuestiforme, sobre áreas de embasamento da Formação Serra Geral são identificados Nitossolos Vermelhos, caracterizados por seu horizonte A moderado e textura argilosa a muito argilosa, (ROSSI, 2017). Por fim, os Neossolos Litólicos são identificados majoritariamente acompanhando o *front* e possuem característica argilosa quando de origem basáltica, ou arenosa, quando de origem arenítica (ROSSI, 2017).

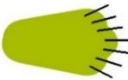
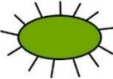
3. Materiais e Métodos

Para identificar a relação do relevo, litologia e solos com a suscetibilidade do terreno ao desenvolvimento de feições erosivas lineares, foram elaborados documentos cartográficos, os quais, posteriormente, foram cruzados entre si e com mapeamentos de fontes secundárias fim de identificar as sobreposições entre estas variáveis de modo quantitativo e qualitativo. No caso desta pesquisa, mapeou-se as feições morfológicas do relevo cuestiforme e a densidade de feições erosivas lineares na escala de 1:10.000 com uso de fotografias aéreas de 1972, escala 1:25.000 e ortofotos digitais da EMPLASA, de 2010/2011, escala 1:10.000. Além destes, utilizou-se os mapeamentos da litologia (SÃO PAULO, 1984) e dos solos (ROSSI, 2017) a fim de identificar a relação espacial destes elementos com as feições erosivas lineares.

3.1 Mapa das feições do relevo cuestiforme

O mapeamento das Feições Cuestiformes de Botucatu buscou identificar os compartimentos do relevo cuestiforme e, dessa forma, avaliar como estes setores influenciam na ocorrência de feições erosivas lineares. Para isso, utilizaram-se princípios e técnicas da cartografia geomorfológica (TRICART, 1965; VERSTAPPEN; ZUIDAN, 1975) adaptados ao objetivo desta pesquisa.

Neste estudo foram utilizadas as fotografias aéreas de 1972, em escala 1:25.000, para a criação dos anaglífos no aplicativo EstereoPhotoMaker, conforme os procedimentos descritos por Souza e Oliveira (2012). Tais técnicas permitiram analisar o relevo em três dimensões e posteriormente mapear os compartimentos cuestiformes sobre este material. Além dos anaglífos, também foram utilizados os arquivos vetoriais referentes às curvas de nível e canais fluviais em escala 1:10.000 (IGC, 1970), a carta de declividade de Botucatu (ANDRADE; LUPINACCI, 2021) e foram realizadas reambulações em campo. As feições cuestiformes mapeadas, os critérios utilizados para defini-las, a simbologia adotada e o referencial bibliográfico utilizado na sua elaboração estão descritas no Quadro 1.

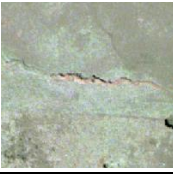
Feição Cuestiforme	Caracterização	Simbologia
Depressão Periférica	Terrenos rebaixados, já desgastados pela circundesnudação, limitados pelo <i>front</i> cuestiforme.	 ROSS; MOROZ (1997)
Reverso	Terrenos elevados a sudoeste do <i>front</i> ainda não desgastados pelos processos erosivos.	 ROSS; MOROZ (1997)
Tálus	Terrenos cobertos pelas rampas coluvionares depositadas no sopé do <i>front</i> . Foi mapeado como um polígono que se inicia na linha de ruptura do <i>front</i> da <i>cuesta</i> e segue até sua base.	 Os autores
Front com cornija	. Linha e ruptura do <i>front</i> da <i>cuesta</i> onde esta se dá de modo abrupto e bem marcado.	 (VERSTAPPEN; ZUIDAN 1975)
Front desmantelado	Linha e ruptura do <i>front</i> da <i>cuesta</i> onde esta se dá de modo gradual, sem que haja uma transição abrupta.	 VERSTAPPEN E ZUIDAN (1975)
Morros testemunhos	Feições residuais que foram separadas do <i>front</i> por processos erosivos (<i>cut off</i>) mas ainda conservam a altura semelhante a este.	 TRICART (1965)
Feições residuais	Superfícies de patamares estruturais identificados no <i>front</i> que não estão cobertos por depósitos coluvionares.	 Os autores
Patamares estruturais	Rupturas topográficas bem marcadas, denotando influência estrutural na sustentação destas feições. Estas rupturas se distinguem do <i>front</i> em razão de seu menor desnível altimétrico e por sua descontinuidade.	 TRICART (1965)

Quadro 1. Critérios e simbologias utilizados para a representação das feições cuestiformes de Botucatu

3.2 Mapas de densidade de feições erosivas lineares

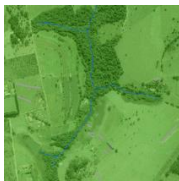
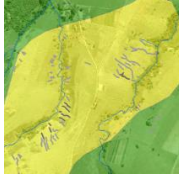
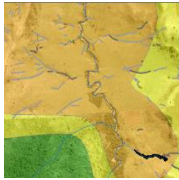
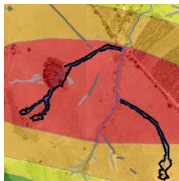
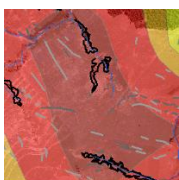
Os mapeamentos da densidade de feições erosivas lineares foram elaborados segundo os princípios e técnicas descritos por Andrade e Lupinacci (2023). Este procedimento se baseia na identificação e mapeamento das feições erosivas lineares dos tipos sulcos erosivos, ravinas e voçorocas presentes na área analisada. Em seguida, estas foram quantificadas para identificar os terrenos onde tais feições se concentram. Os mapeamentos, que foram elaborados para dois cenários, foram realizados a partir da análise cuidadosa das fotografias aéreas de 1972 e do mosaico das ortofotos digitais de 2010, buscando identificar feições erosivas lineares mapeáveis na escala de 1:10.000. Os sulcos e ravinas foram diferenciados no processo de fotointerpretação pela maior profundidade e

presença de taludes nos casos das ravinas e, em razão de suas características morfodinâmicas, foram mapeados como linhas sobre as incisões (Quadro 2). No caso das voçorocas, seu alargamento e ramificação a montante, em virtude dos processos de escoamento subsuperficial (FENDRICH *et al*, 1997; SALOMÃO, 1999; OLIVEIRA, 1999), levaram estas a serem mapeadas como linhas sobre os taludes erosivos (Quadro 2).

Feição Erosiva	Simbologia	Fotografias Aéreas (TERRAFOTO, 1972)	Ortofotos (EMPLASA 2010)
Sulcos			
Ravinas			
Voçorocas			

Quadro 2. Critério para identificação das feições erosivas lineares nas imagens aéreas e ortofotos digitais.

Após o mapeamento das feições erosivas lineares, foi calculada a densidade destas a fim de identificar os locais de maior concentração. Para tanto foi criada uma malha quadriculada sobre a área de análise, com quadrículas de 500m de lado. Em seguida, foi calculada a soma do comprimento das feições erosivas lineares (sulcos, ravina e voçorocas) no interior de cada quadrícula. Vale comentar que os sulcos, por corresponderem ao processo inicial e menos intenso da erosão linear, teve seus valores de comprimentos multiplicados por 0,5 a fim de diminuir o peso destas feições no cálculo dos valores de densidade, conforme justificado por Andrade e Lupinacci, (2023). Em seguida, o valor da soma do comprimento das feições erosivas lineares no interior de cada quadrícula foi dividido pela área da quadrícula a fim de identificar a densidade. Ao final, este valor de densidade foi atribuído ao ponto central de cada quadrícula e interpolado para a área de estudo utilizando o parâmetro *natural neighbors*. Para a elaboração do mapa final, os valores de densidade de feições erosivas lineares foram divididos em cinco classes (Quadro 3), com intervalos exponenciais entre estas, dobrando a cada classe.

Classes de Densidade de Feições Erosivas Lineares	Fotografias Aéreas	Densidade de Feições Erosivas
 Classe I (0 - 10 m/ha): terrenos pouco atingidos por feições erosivas, com presenças excepcionais de sulcos ou ravinas.		
 Classe II (10 - 20 m/ha): terrenos atingidos por feições erosivas, principalmente sulcos e ravinamentos e excepcionalmente voçorocas de pequeno porte e isoladas, indicando terrenos atingidos por processos erosivos pouco desenvolvidos, mas com potencial para evolução.		
 Classe III (20 - 40 m/ha): terrenos fortemente atingidos por sulcos e ravinamentos, e eventualmente voçorocas, indicando um estágio mais desenvolvido do que o da segunda classe, onde os processos erosivos já comprometem as atividades de uso da terra no local.		
 A Classe IV (40 - 80 m/ha): terrenos com presença de voçorocas já desenvolvidas associadas a sulcos e ravinas. Nestes locais, a erosão já representa um problema para o uso da terra e faz-se necessário aplicar medidas de contenção.		
 A Classe V (80 - 160 m/ha): terrenos marcados por voçorocamentos de grande porte, frequentemente associados a sulcos e ravinas, com elevado comprometimento das terras e necessidade de aplicação de técnicas de contenção. Em alguns locais, constata-se inclusive que estes métodos já foram aplicados na tentativa de estabilizar as voçorocas.		

Quadro 3. Critérios para adoção das classes de densidade de feições erosivas lineares

3.3 Cruzamento e análise dos dados geoespaciais

Para identificar a relação espacial entre a densidade de feições erosivas lineares e as propriedades do relevo cuestasiforme, litologia e solos na área de análise, os mapeamentos da densidade de feições erosivas lineares (1972 e 2010) foram sobrepostos aos mapeamentos das feições morfológicas da *cuesta*, dos solos e das formações litológicas. A partir deste procedimento, foram calculadas as áreas de sobreposição entre as classes de densidade de feições erosivas lineares com os elementos dos outros mapeamentos a fim de compreender quais compartimentos do relevo, tipo de solo e formação litológica estão associados às mais altas classes de densidade de feições erosivas lineares. A análise das relações espaciais foi realizada de modo quantitativo por meio da avaliação das áreas de sobreposição entre as classes de densidade e o relevo, solos e litologia, e também qualitativo, a partir de análises de contexto e características dos locais em que as classes de densidade se concentram.

4. Resultados e Discussão

O mapeamento das Feições Morfológicas da Cuesta de Botucatu (Figura 4) aponta para a presença de um *front* cuestiforme com características morfológicas heterogêneas. Para além do festonamento, típico desta estrutura, em determinados setores são observados uma cornija bem marcada (Figura 5a) ao passo que, em outros locais, observa-se uma cornija desmantelada, frequentemente associada a patamares estruturais (Figura 5b). Entende-se que as camadas e descontinuidades internas da Formação Serra Geral ou seu contato com a Formação Botucatu (IPT, 1981b; HARTMANN, et al, 2014) leva ao desenvolvimento de degraus intermediários, acarretando em um escalonamento do *front* e, conseqüentemente, quebrando a energia dos processos de dissecação, dando origem a formas mais suavizadas.

O escalonamento do relevo associado a ocorrência de patamares estruturais não se restringe apenas ao *front*, mas também ao reverso e a Depressão Periférica. Essa constatação desmonstra que o relevo cuestiforme em Botucatu não se configura apenas por um degrau topográfico bem marcado, mas uma sucessão de patamares associados a geodiversidade da região. Na Depressão Periférica, especialmente na bacia do rio Alambari, foram identificados diversos patamares estruturais na Formação Pirambóia, provavelmente associados a diferenças de resistência das fácies da própria Formação (CORTÊS; PERINOTTO, 2015). No reverso os patamares estruturais, foram identificados especialmente nas cabeceiras de drenagem das bacias do rio Araquá e córrego Lavapés, próximas ao contato entre as formações Marília e Serra Geral. Cabe ressaltar porém, que os patamares estruturais não são identificados em todas as zonas de contato entre essas duas formações, sugerindo que, à semelhança do que foi verificado no caso de Formação Pirambóia, tal fato se deva à fácies heterogeneas ou variações internas da própria Formação Marília.

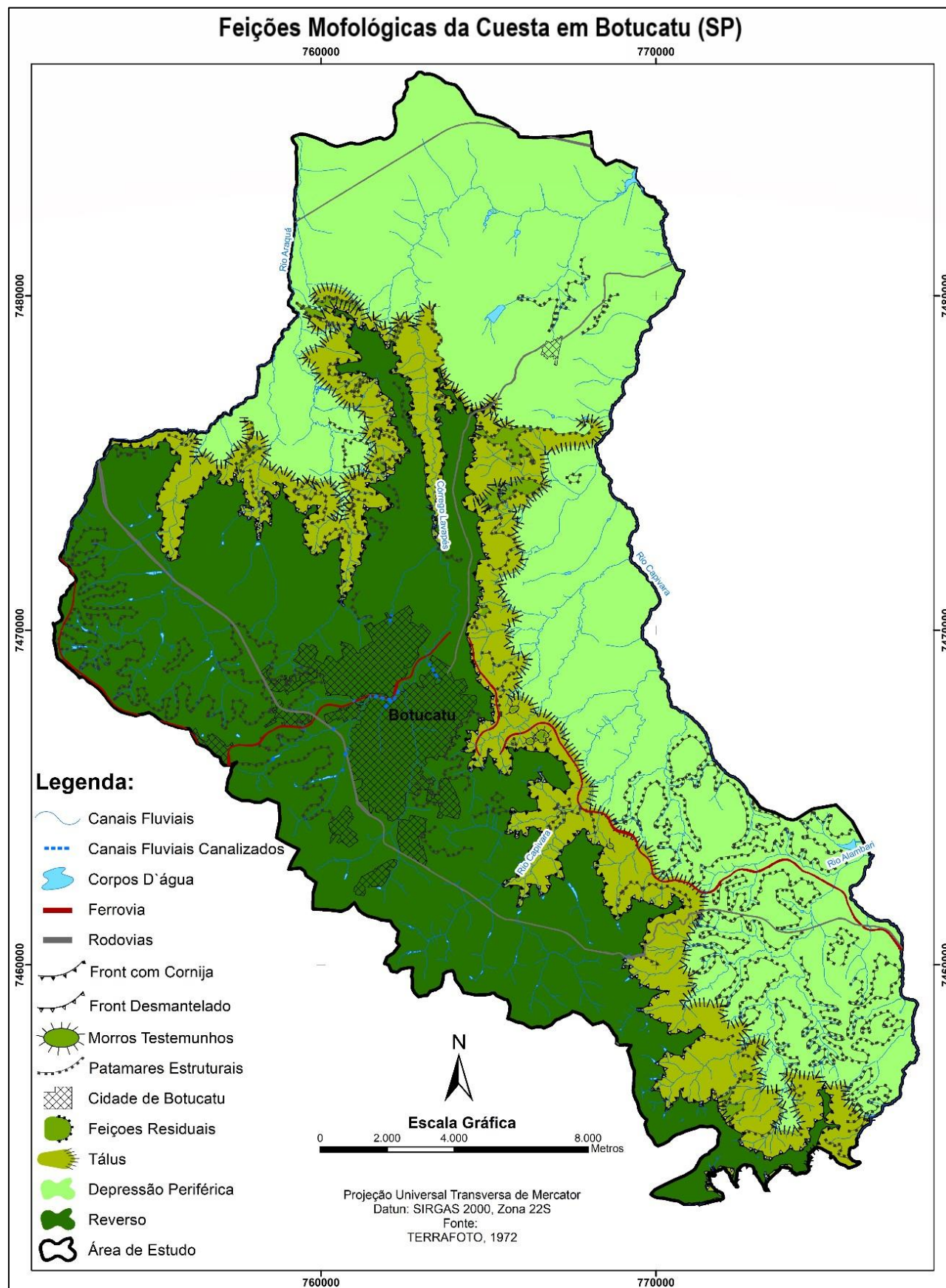


Figura 4. Mapa das Feições Morfológicas da Cuesta em Botucatu.

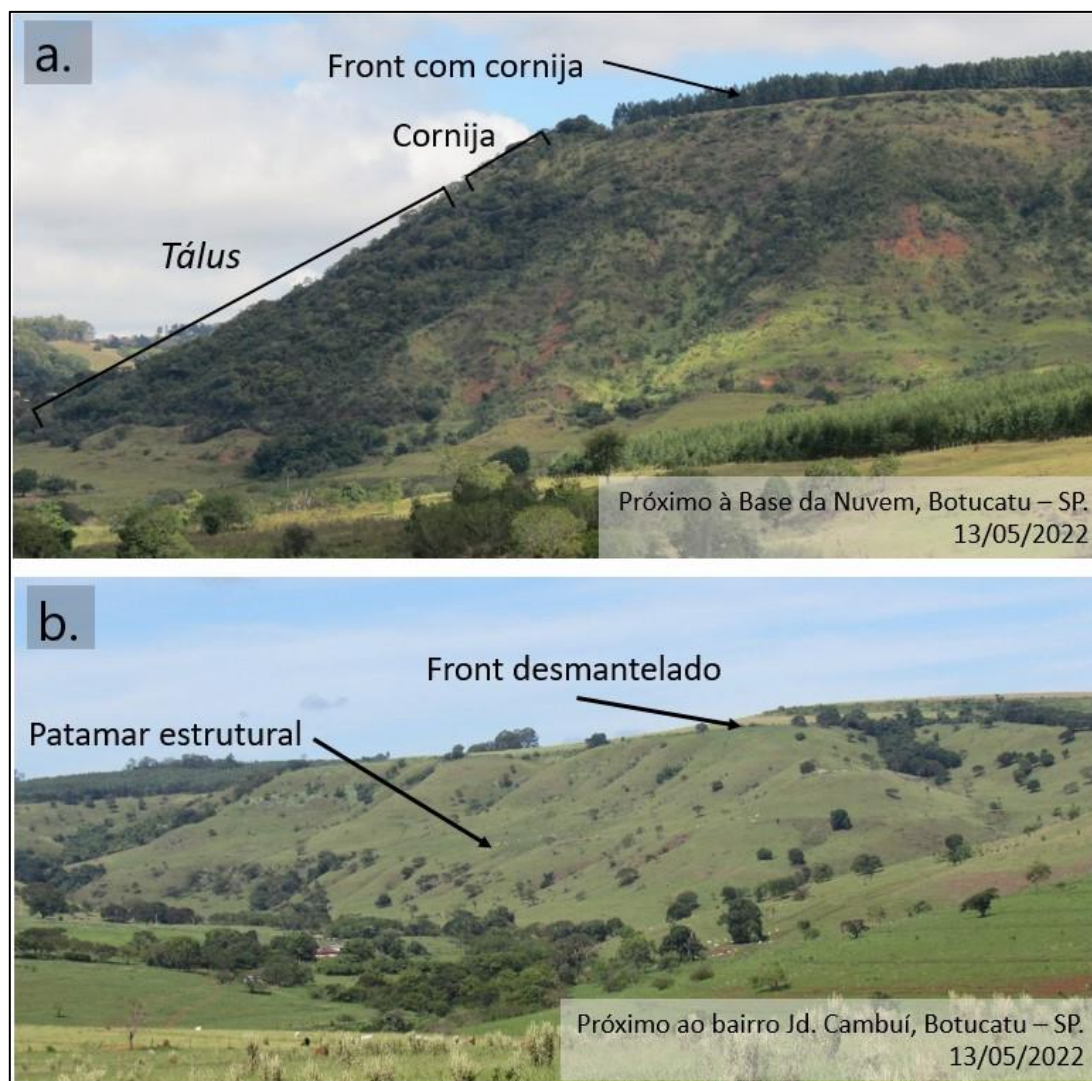


Figura 5. Características morfológicas do front da cuesta em Botucatu. Fonte: os autores

O cruzamento espacial entre os mapeamentos do relevo, litologia e solos com os mapeamentos de densidade de feições erosivas lineares de 1972 e 2010 (Figura 6), destacou a existência algumas diferenças na densidade de feições erosivas lineares mapeadas nos dois cenários, as quais se devem às mudanças nos padrões de uso da terra ocorridos neste intervalo de 38 anos. Entretanto, ambos os cenários foram analisados de modo complementar a fim de subsidiar as análises acerca da influência das variáveis físicas sobre a dinâmica erosiva.

No que diz respeito às relações espaciais entre os compartimentos do relevo cuestiforme e a densidade de feições erosivas lineares, a Tabela 1 indica que as classes mais altas foram identificadas no reverso, que abriga 73,1% da área da Classe IV e 85,9% da Classe V para o cenário de 1972 (Tabela 1; Figura 7). Porém, essa tendência não se repete no cenário de 2010, quando o reverso passa a abrigar 54,1% da Classe IV e 48,7% da Classe V, as quais tiveram uma representação maior na Depressão Periférica (Tabela 1; Figura 8). Os dados apontam para o elevado potencial do reverso custiforme ao desenvolvimento de feições erosivas lineares, a partir da identificação dos diversos e extensos voçorocamentos nas cabeceiras dos rios Araquá, Capivara e córrego Lavapés (Figura 9a). A ocorrência de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem já é conhecida na bibliografia e apontada como uma tendência frequente (DANIEL; VIEIRA, 2015), especialmente sobre vertentes concavas em virtude da concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais (NÓBREGA et al, 2023). Entretanto, no caso das *cuestas* de Botucatu, as altas classes de densidade de feições erosivas lineares no reverso acompanham o contato entre as formações Marília e Serra Geral, em diversos setores marcados pela presença de patamares estruturais, ou depósitos Pliocênicos-Pleistocênicos com a Formação Marília e Serra Geral (Figura 9).

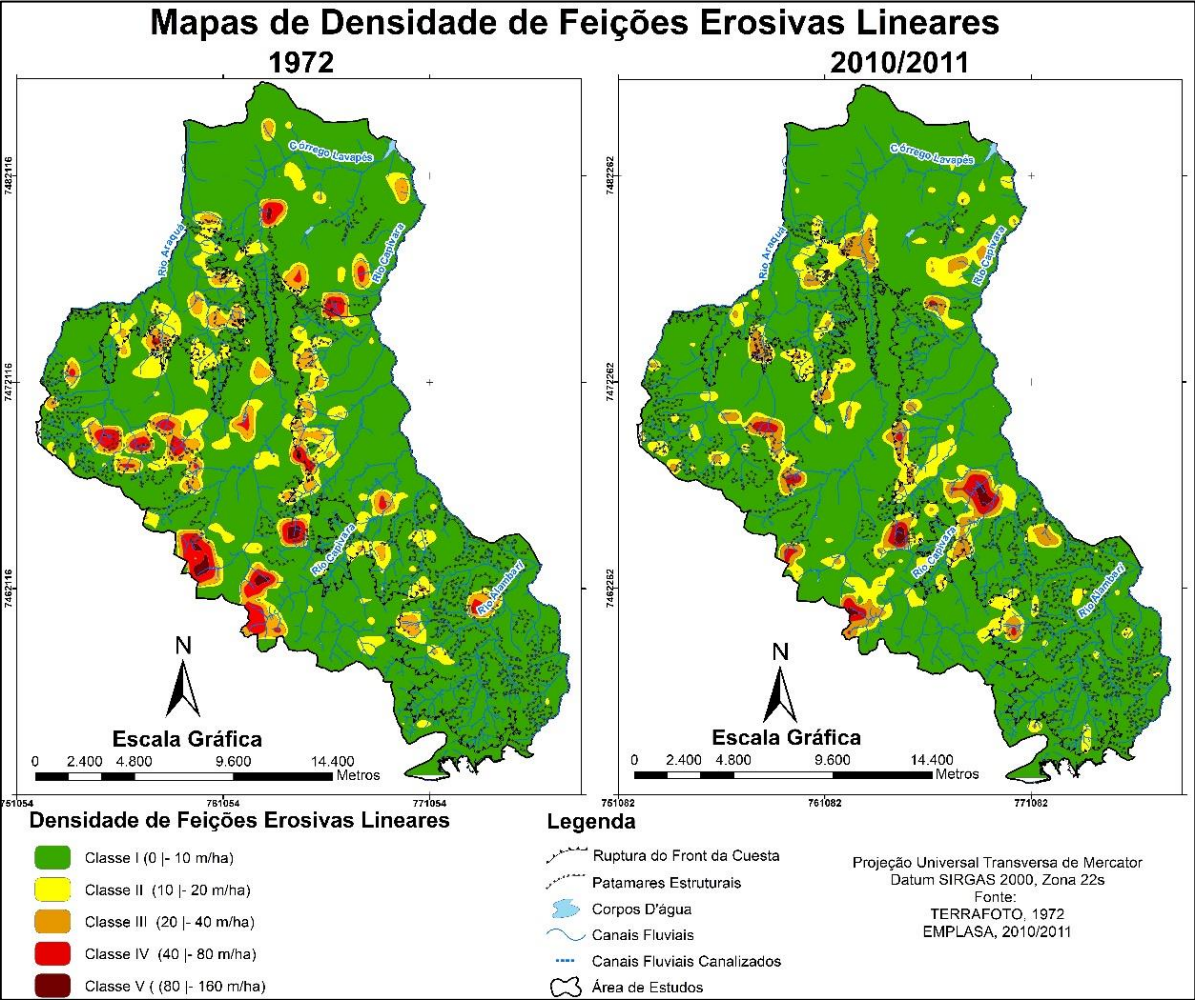


Figura 6. Mapas de densidade de feições erosivas lineares de 1972 e 2010

Tabela 1. Distribuição das classes de densidade de feições erosivas por compartimento do relevo cuestasiforme.

Compartimentos do relevo de cuestas	Área Total	Densidade de Feições Erosivas Lineares									
		Classe I		Classe II		Classe III		Classe IV		Classe V	
		1972	2010	1972	2010	1972	2010	1972	2010	1972	2010
Depressão Periférica	43,6%	48,6%	46,0%	25,1%	32,5%	25,9%	23,6%	16,8%	39,4%	8,5%	51,3%
Tálus	16,4%	13,6%	14,6%	32,8%	24,2%	24,6%	36,1%	9,8%	6,4%	5,6%	0,0%
Feições Residuais	0,6%	0,4%	0,7%	1,7%	0,4%	1,1%	0,5%	0,4%	0,2%	0,0%	0,0%
Reverso	39,4%	37,4%	38,7%	40,4%	42,9%	48,4%	39,8%	73,1%	54,1%	85,9%	48,7%

Com relação a sobreposição da densidade de feições erosivas lineares com o *tálus*, este compartimento, que ocupa 16,4% da superfície da área de estudo, abriga 32,8% da da Classe II e 24,6% da Classe III em 1972, e no cenário de 2010 estes valores atingem 24,2% da Classe II e 36,1% da Classe III (Tabela 1, Figuras 7 e 8). Apesar desta representação expressiva nas duas classes, o mesmo não ocorre com relação às classes mais altas, IV e V. Tais dados demonstram que o *tálus* é mais propenso à concentração de sulcos, ravinamentos e pequenas voçorocas (Figura 10 e 11), que são os tipos de feições mais frequentemente associadas às classes II e III (ANDRADE; LUPINACCI, 2023). De modo oposto, os grandes voçorocamentos, associados às classes IV e V raramente foram identificados sobre o *tálus*. Este fato pode estar associado ao declive mais acentuado e ao comprimento das vertentes, que potencializam a energia do escoamento superficial tornando os materiais de superfície (solos e colúvios) mais rasos, gerando sulcos e ravinas, contudo sem profundidade suficiente para as voçorocas. Ainda, o fato de o *tálus* ser constituído

por um material coluvionar, recente e inconsolidado, depositado a partir de processos geomorfológicos em condições climáticas variadas (PINHEIRO; QUEIROZ NETO, 2017), tornam estes terrenos mais suscetíveis ao desenvolvimento de formas erosivas (DANIEL; VIEIRA, 2015; SHEEHAN; WARD, 2018).

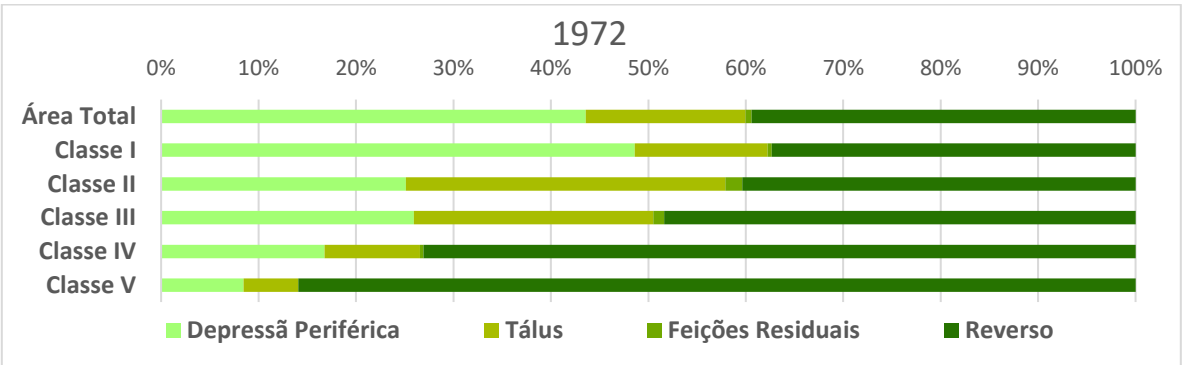


Figura 7. Distribuição das classes de densidade de feições erosivas lineares por compartimento do relevo cuestiforme em 1972

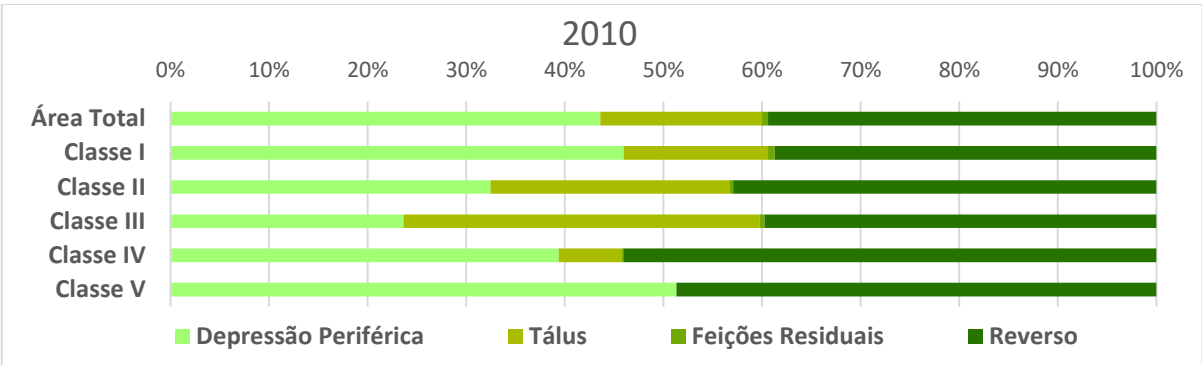


Figura 8. Distribuição das classes de densidade de feições erosivas lineares por compartimento do relevo cuestiforme em 2010

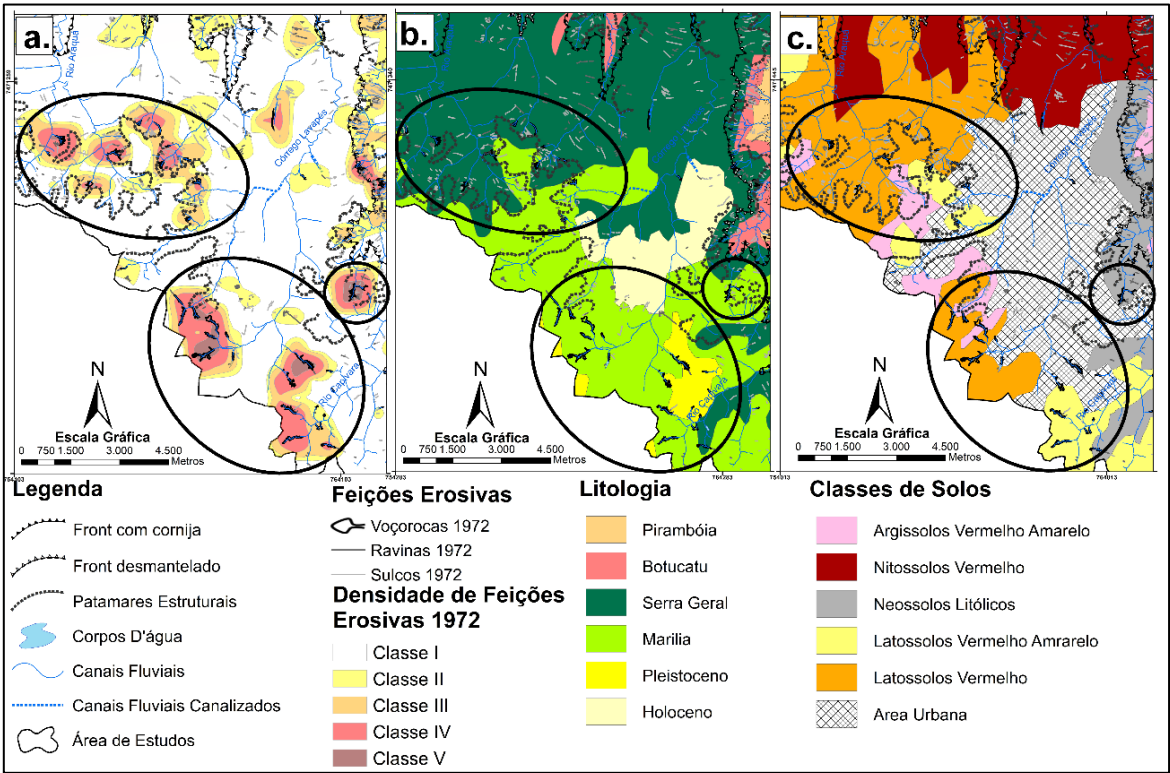


Figura 9. Feições erosivas, litologia e solos no reverso cuestiforme. Fonte: São Paulo, 1984; Rossi, 2017

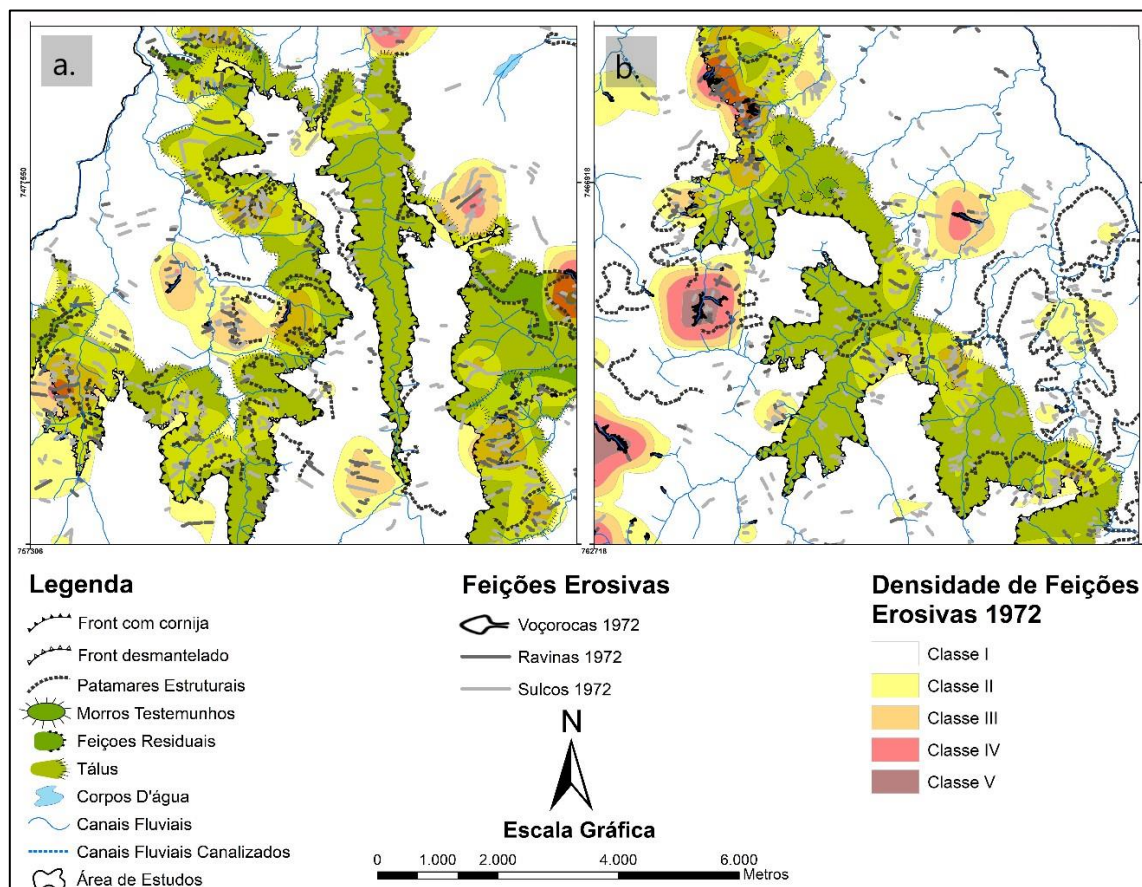


Figura 10. Feições erosivas lineares e classes de densidade sobre o tálus.

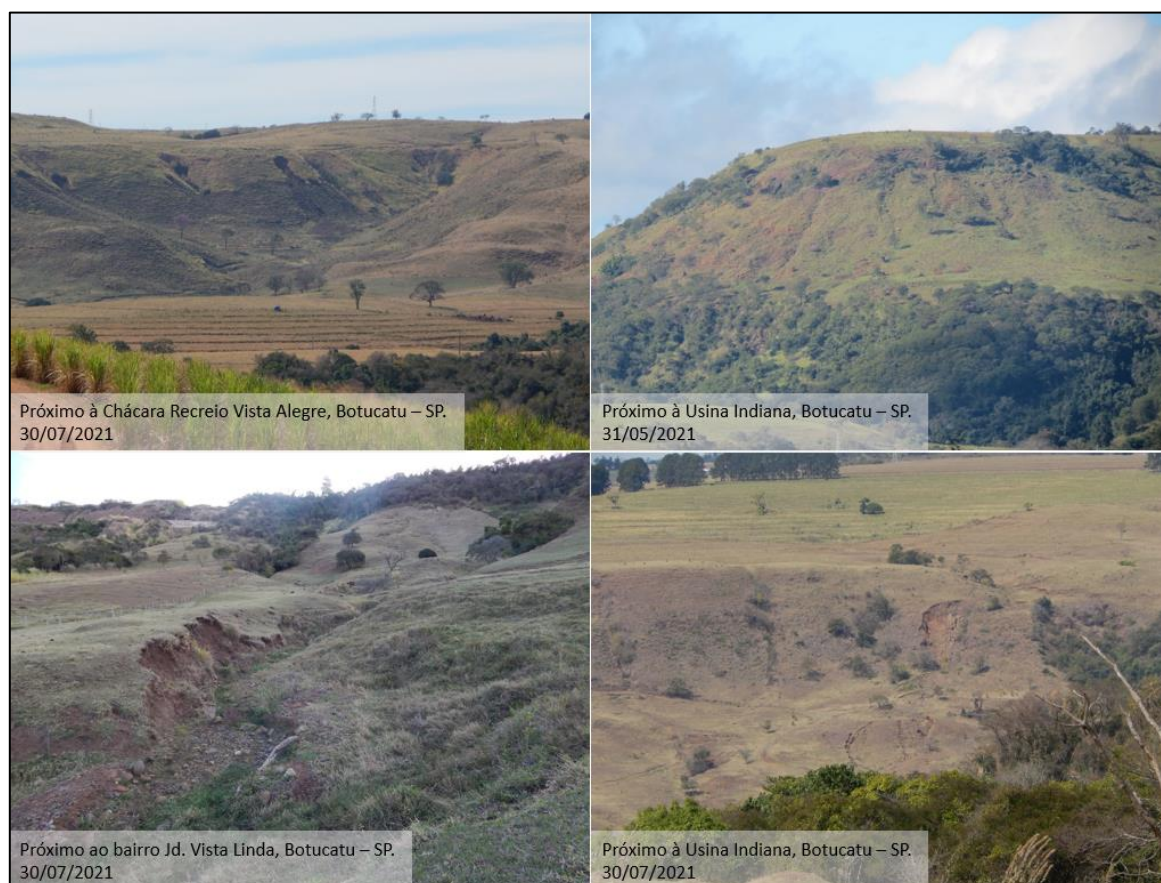


Figura 11. Feições erosivas no front cuestiforme. Fonte: Os autores

No caso da Depressão Periférica, a sobreposição com as maiores classes de densidade de feições erosivas lineares é baixa no cenário de 1972, sustentando 16,8% dos terrenos da classe IV e 8,5% dos da classe V, as quais estão mais associadas ao reverso (Tabela 1, Figura 7). Porém, em razão da diminuição das feições erosivas no reverso, concomitantemente ao aumento de voçorocamentos na Depressão Periférica no cenário de 2010/2011, este setor passou a abrigar 39,4% da Classe IV e 53,3% da Classe V (Tabela 1; Figura 8). Este aumento está muito bem marcado pelo desenvolvimento de grandes voçorocas em um setor, possivelmente em razão das características litológicas e pedológicas locais (Figura 12).

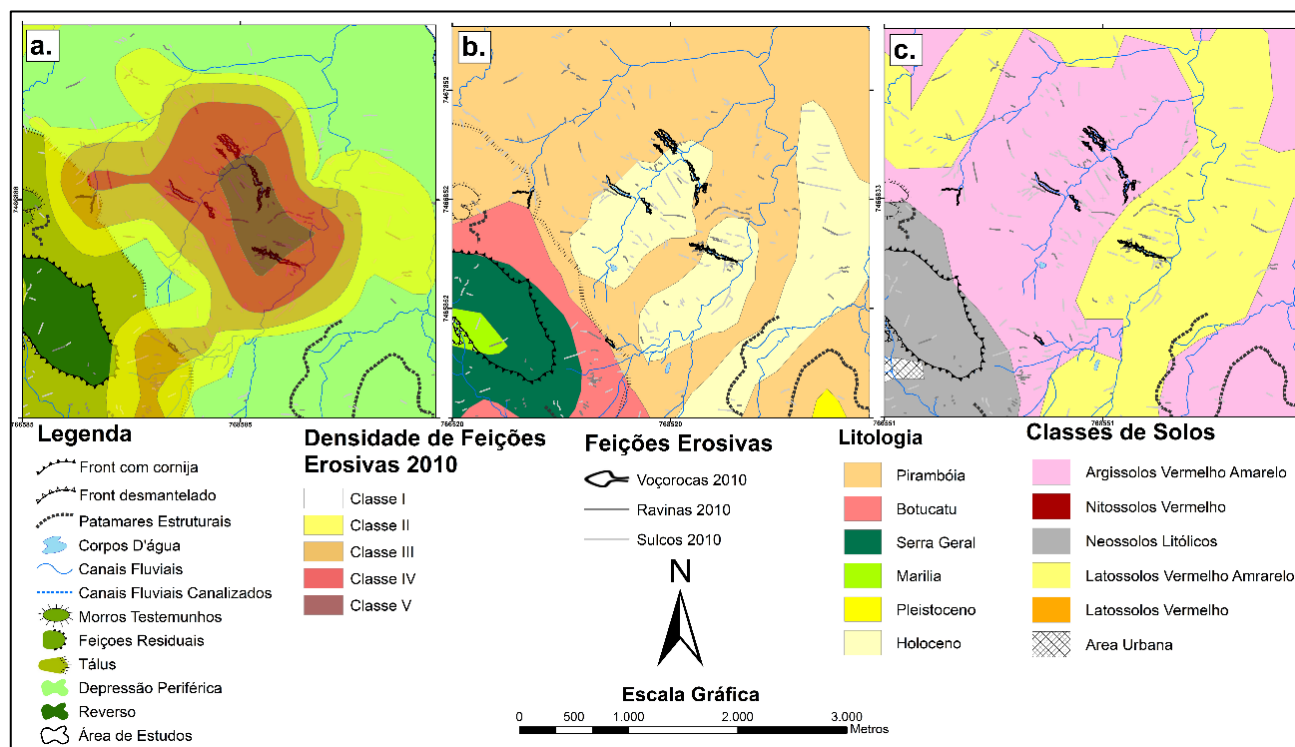


Figura 12. Feições erosivas na Depressão Periférica (a); litologia (b) e solos (c). Fonte: São Paulo, 1984; Rossi, 2017

No que diz respeito à influência do embasamento litológico no desenvolvimento de feições erosivas lineares, identificou-se uma forte relação da classe IV com a Formação Marília e Serra Geral, as quais sustentam respectivamente 43,1% e 38,9% da área inserida nesta classe (Tabela 2, Figura 13) no cenário de 1972. No caso da classe V, 76,8% (Tabela 2, Figura 14) se concentram sobre a Formação Marília para o mesmo cenário. Além disso, no cenário de 1972, os depósitos Pliocênicos-Pleistocênicos, que ocupam 3,6% da área de estudos, apresentam 4,7% da classe IV e 5,6% da classe V (Tabela 2, Figura 13). Em 2010, apesar de algumas semelhanças, notou-se o aumento das classes IV e V sobre a Formação Pirambóia e Depósitos Holocênicos, em consequência da intensificação dos voçorocamentos na Depressão Periférica. Nesse cenário a proporção da sobreposição da Classe IV com a Formação Marília é de 35,9% e de 19,4%, para a Formação Serra Geral. No caso da Classe V, o valor de sobreposição com a Formação Marília é de 48,2% (Tabela 2, Figura 14).

Tabela 2. Embasamento litológico das classes de densidade de feições erosivas lineares nos cenários de 1972 e 2010

Litologia	Área Total	Densidade de Feições Erosivas Lineares									
		Classe I		Classe II		Classe III		Classe IV		Classe V	
		1972	2010	1972	2010	1972	2010	1972	2010	1972	2010
Fm. Pirambóia	36,7%	41,7%	39,7%	19,1%	21,7%	17,0%	18,1%	9,7%	24,6%	4,0%	15,9%
Fm. Botucatu	10,2%	8,9%	9,2%	18,3%	15,3%	15,1%	20,4%	2,8%	2,1%	4,4%	0,0%
Fm. Serra Geral	31,9%	29,0%	30,5%	45,0%	43,1%	43,3%	36,9%	38,9%	19,4%	9,4%	0,2%
Fm. Marília	12,1%	10,6%	11,5%	10,5%	11,6%	18,9%	18,1%	43,1%	35,9%	76,8%	48,2%
Dep. Holocênicos	5,4%	6,1%	5,6%	4,1%	3,1%	2,9%	3,0%	1,0%	15,0%	0,0%	35,4%
Dep. Pliocênicos-Pleistocênicos	3,6%	3,7%	3,5%	3,1%	5,1%	2,9%	3,6%	4,7%	3,0%	5,4%	0,3%

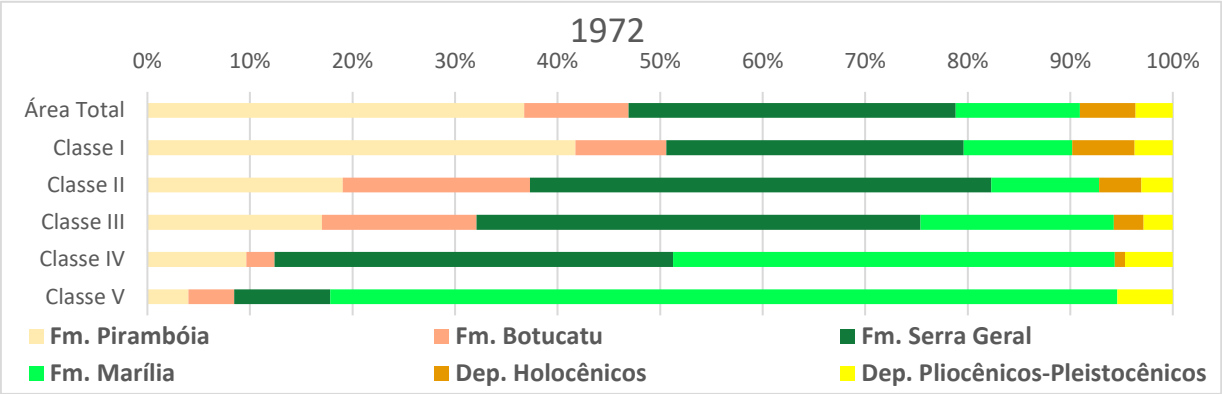


Figura 13. Embasamento litológico das classes de densidade de feições erosivas lineares no cenário de 1972.

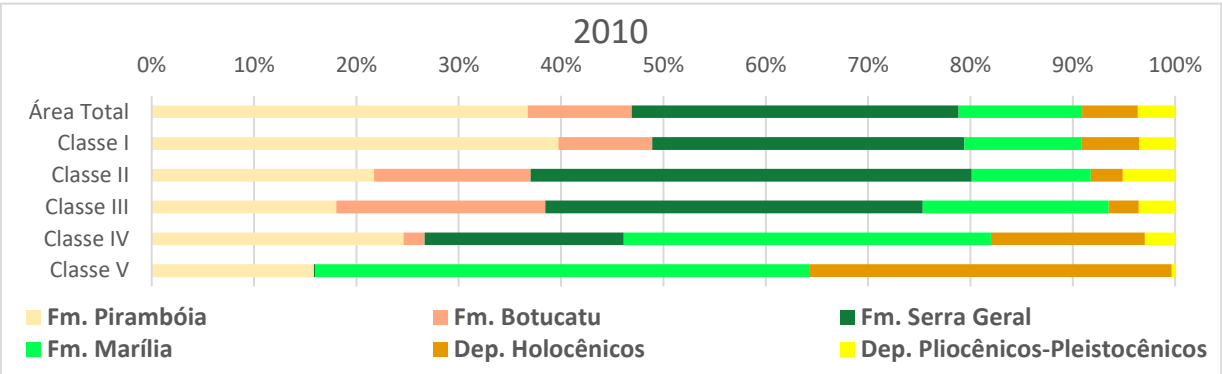


Figura 14. Embasamento litológico das classes de densidade de feições erosivas lineares no cenário de 2010.

Os dados quantitativos, aliados a análises qualitativas das regiões em que as classes mais altas se concentram em ambos os cenários, reforçam o entendimento de que os contatos litológicos das formações Marília e Serra Geral nas cabeceiras de drenagem, criam as condições para o intenso desenvolvimento dos processos erosivos lineares nas regiões de *cuesta* (Figura 9b). Provavelmente isso decorre da alteração nas taxas de infiltração a partir da transição entre as formações, que passam de uma textura arenítica, mais permeável para uma formação basáltica, menos permeável, favorecendo o afloramento das águas subsuperficiais. Condições estas que levam a ocorrência de grande quantidade de nascentes, atribuindo maior fragilidade a estes locais. Além disso, as características arenosas da Formação Marília e dos depósitos Pliocênicos-Pleistocênicos e, conseqüentemente a menor resistência destas formações, também elevam a suscetibilidade destes terrenos à erosão acelerada por voçorocamentos e a evolução destas feições à montante. Ademais, o menor registro de sulcos e ravinamentos nestes setores reforçam o entendimento de que são locais mais propensos à processos ligados ao escoamento subsuperficial.

O aspecto arenoso da Formação Marília dá origem a solos igualmente arenosos e frágeis do ponto de vista erosivo (BEZERRA *et al*, 2009; ARRAES; BUENO; PIZARRA, 2010). Tal fato, associado ao contato com os basaltos menos permeáveis na base, pode intensificar o processo erosivo. Com relação aos patamares estruturais observados em alguns pontos de contato entre as formações Marília e Serra Geral, notou-se que estes potencializaram a erosão em razão do declive mais acentuado. Porém, nestes locais foram observados voçorocamentos menos extensos em comparação àqueles observados em locais onde os contatos litológicos não eram marcados pela presença de patamares estruturais. Estas análises sugerem que a maior resistência litológica, evidenciada pela presença de patamares estruturais, dinamizam o processo erosivo em virtude do declive, ao mesmo tempo em que as voçorocas são menos desenvolvidas a montante, com menos ramificações. Já nos contatos onde não foram verificados patamares estruturais, o que sugere menor resistência da rocha matriz, as feições erosivas possuem maior extensão.

Com relação às sobreposições entre as classes de densidade de Feições Erosivas Lineares e as formações Botucatu e Serra Geral, foram identificados resultados semelhantes àqueles associados ao *tálus*. Apesar de corresponder a 10,2% da área estudada, a Formação Botucatu sustenta 18,3% da Classe II e 15,1% da Classe III, ao passo que a Formação Serra Geral, que se estende por 31,9% da área analisada abriga 45% dos terrenos da Classe II e 43,3% dos da Classe III no cenário de 1972 (Tabela 2; Figura 13). Em 2010/2011 os arenitos Botucatu embasam 15,3% da área da Classe II, e 20,4% da Classe III, enquanto a Formação Serra Geral sustenta 43,1% dos terrenos inseridos na Classe II e 36,9% dos inseridos na Classe III (Tabela 2, Figura 14).

Além dos dados quantitativos, notou-se também a relação das classes de densidade de feições erosivas lineares com os setores de contatos entre as formações Serra Geral e Botucatu, sugerindo que a transição entre estas estruturas heterogêneas consiste em um fator potencializador da dinâmica erosiva (Figura 15a). Dessa forma, além do aumento do potencial erosivo em razão do declive do *front* e dos patamares estruturais, estes contatos implicam em descontinuidades nas taxas de infiltração, levando a ocorrência de nascentes, as quais, sem os devidos cuidados com a manutenção da vegetação original, podem levar ao desenvolvimento de voçorocamentos. Além disso, essas formações litológicas dão origem a solos com propriedades texturais distintas, as quais podem impactar na dinâmica do escoamento superficial.

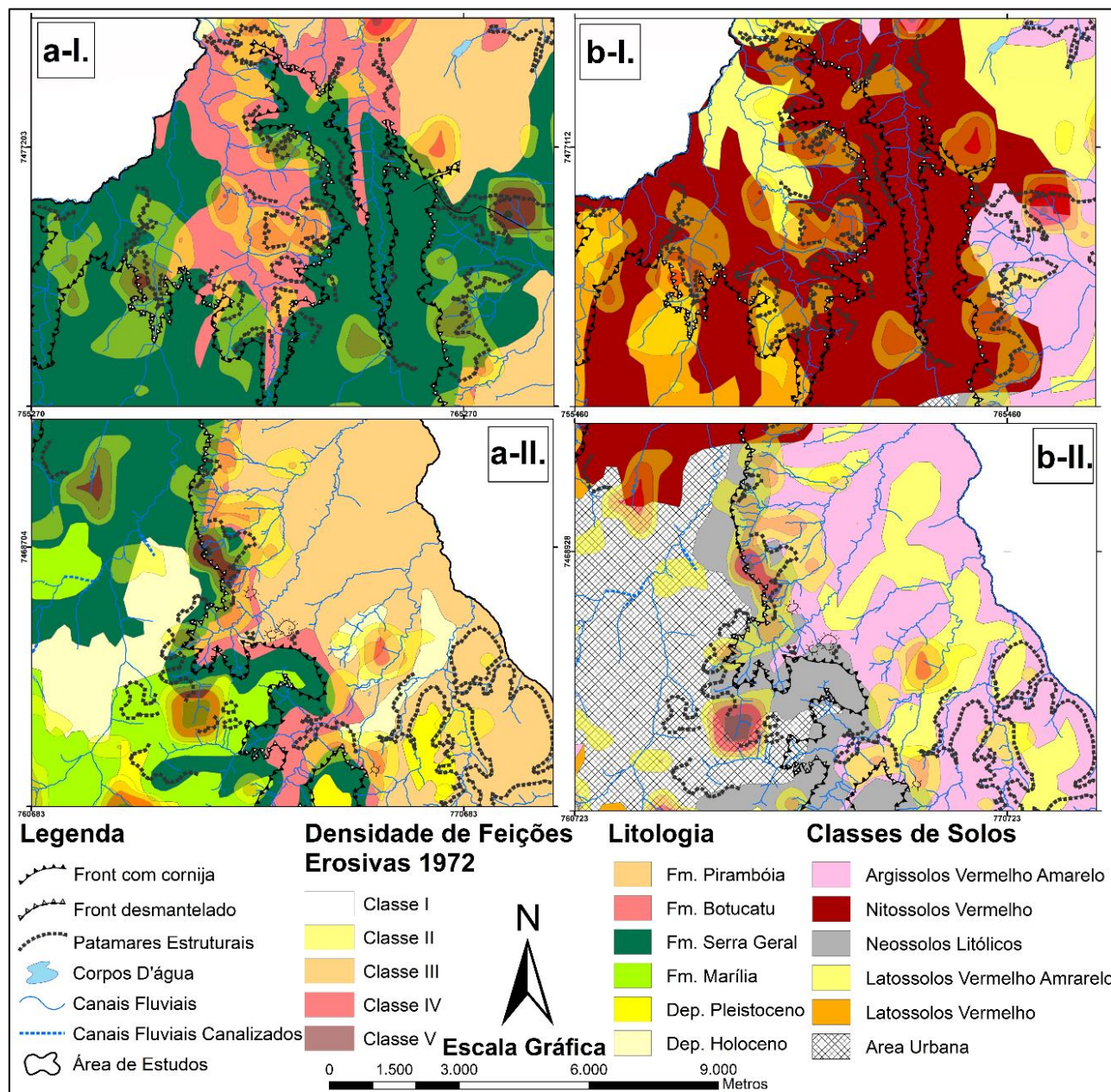


Figura 15. Classes de densidade de feições erosivas lineares próximo aos contatos entre as Formações Serra Geral e Botucatu (a) e sobre os Nitossolos e Neossolos Litólicos (b). Fonte: São Paulo, 1984; Rossi, 2017

No que diz respeito à Formação Pirambóia e a dinâmica erosiva linear, observou-se uma fraca relação com as maiores classes de densidade de feições erosivas em 1972. Apesar de esta ocupar 36,7% da área de análise, a sobreposição com as classes IV e V são de, respectivamente, 9,7% e 4,0%, em razão da concentração das feições erosivas no reverso em 1972 (Tabela 2; Figura 13). Já em 2010, estes valores chegam a 24,6% na Classe IV e 15,9% na Classe V, enquanto a relação com os depósitos Holocênicos, que se estendem por apenas 5,4% da área de estudos, no cenário de 2010 sustentam 15% dos setores inseridos na Classe IV e 35,4% da Classe V (Tabela 2, Figura 14). Tais valores são atingidos principalmente no setor onde se verificou o maior aumento dos voçorocamentos (Figura 12b) e também pode estar associada ao contato litológico entre essas formações e as características pedológicas locais.

Com relação às coberturas pedológicas, constatou-se que as maiores densidades de feições erosivas lineares do reverso se estabeleceram sobre os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo. Os Latossolos Vermelhos, que ocupam 10,4% da área de análise, estão majoritariamente sobre o reverso e sustentam respectivamente, 36,2% e 41,6% das áreas das classes IV e V em 1972, entretanto esse valor cai para 19,5% e 0% no cenário de 2010 (Tabela 3,

Figuras 16 e 17). Os Latossolos Vermelho-Amarelo estão distribuídos de forma majoritária pela Depressão Periférica, mas são identificados também no reverso, onde embasam extensos voçorocamentos nos dois cenários (Figura 9c). A sobreposição dos Latossolos Vermelho-Amarelo com as classes IV e V é de, respectivamente 19,0% e 0,1% no cenário de 1972 e de 30,2% e 39,9% em 2010 (Tabela 3, Figuras 16 e 17). Porém, cabe ressaltar que no cenário de 2010, boa parte destas sobreposições se estabelecem na Depressão Periférica.

Tabela 3. Distribuição dos solos nas classes de densidade de feições erosivas lineares nos cenários de 1972 e 2010

Solos	Área Total	Densidade de Feições Erosivas Lineares									
		Classe I		Classe II		Classe III		Classe IV		Classe V	
		1972	2010	1972	2010	1972	2010	1972	2010	1972	2010
LATOSSOLO VERMELHO	10,4%	7,9%	9,8%	15,8%	11,1%	20,4%	18,5%	36,2%	19,5%	41,6%	0,0%
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	21,7%	23,2%	21,8%	14,6%	19,9%	18,4%	21,9%	19,0%	30,2%	0,1%	39,9%
NEOSSOLOS LITÓLICOS	11,1%	11,2%	10,5%	10,3%	15,5%	11,9%	12,6%	8,9%	10,2%	25,2%	26,1%
NITOSSOLO VERMELHO	16,4%	15,0%	15,8%	25,7%	21,1%	21,3%	21,3%	8,4%	1,8%	0,0%	0,0%
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	31,0%	33,8%	32,7%	23,4%	23,2%	17,8%	19,8%	14,6%	26,3%	12,1%	26,0%
Área Urbana	9,3%	8,9%	9,5%	10,3%	9,1%	10,2%	5,8%	12,8%	11,9%	20,9%	8,1%

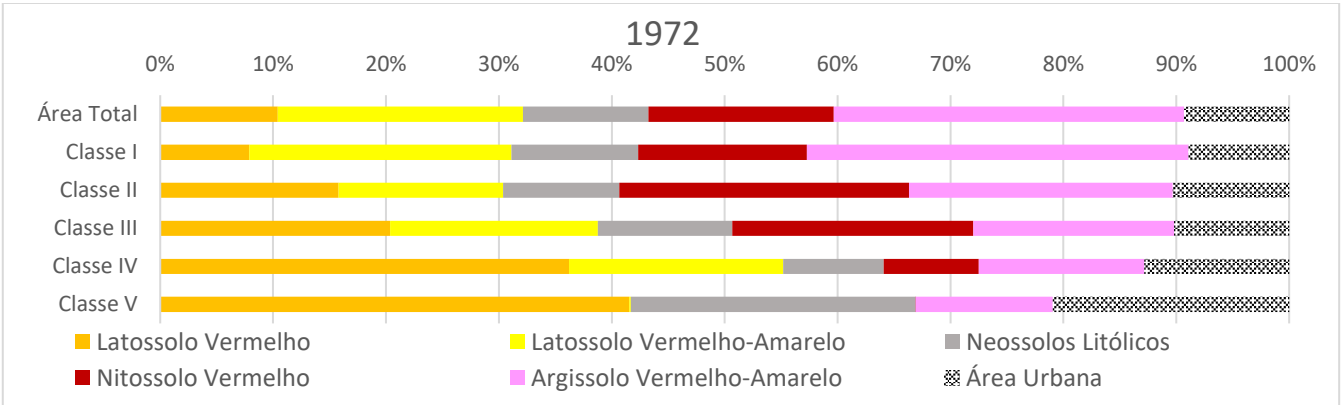


Figura 16. Distribuição dos solos nas classes de densidade de feições erosivas lineares no cenário de 1972

Os Latossolos Vermelhos estão associados às formações Serra Geral e Marília e possuem texturas que variam entre mais argilosas a mais arenosas (IAC, 2014; ROSSI, 2017), sendo que tais características podem influenciar na dinâmica e forma das feições erosivas identificadas sobre este solo. A análise dos documentos cartográficos demonstrou que os voçorocamentos identificados sobre os Latossolos Vermelhos próximo aos contatos entre as formações Serra Geral e Marília apresentam menor dimensão e menor desenvolvimento a montante, diferentemente daqueles observados próximos ao contato entre a Formação Marília e os depósitos Pliocênicos-Pleistocênicos, que são ramificados e bem desenvolvidos (Figura 18). Essa diversidade identificada na morfodinâmica das feições erosivas corroboram as análises de Nóbrega et al (2023) segundo as quais as características de origem e evolução dos voçorocamentos estão associadas a um conjunto de fatores particulares que se manifestam localmente.

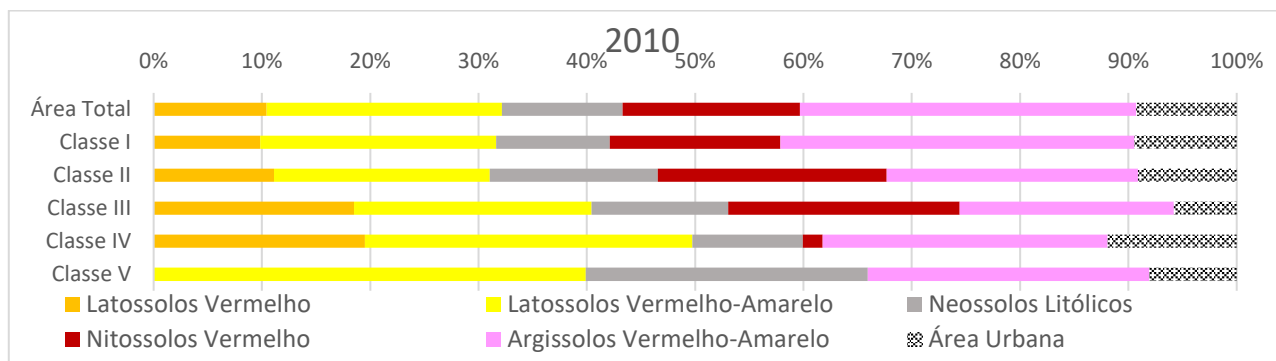


Figura 17. Distribuição dos solos nas classes de densidade de feições erosivas lineares no cenário de 2010

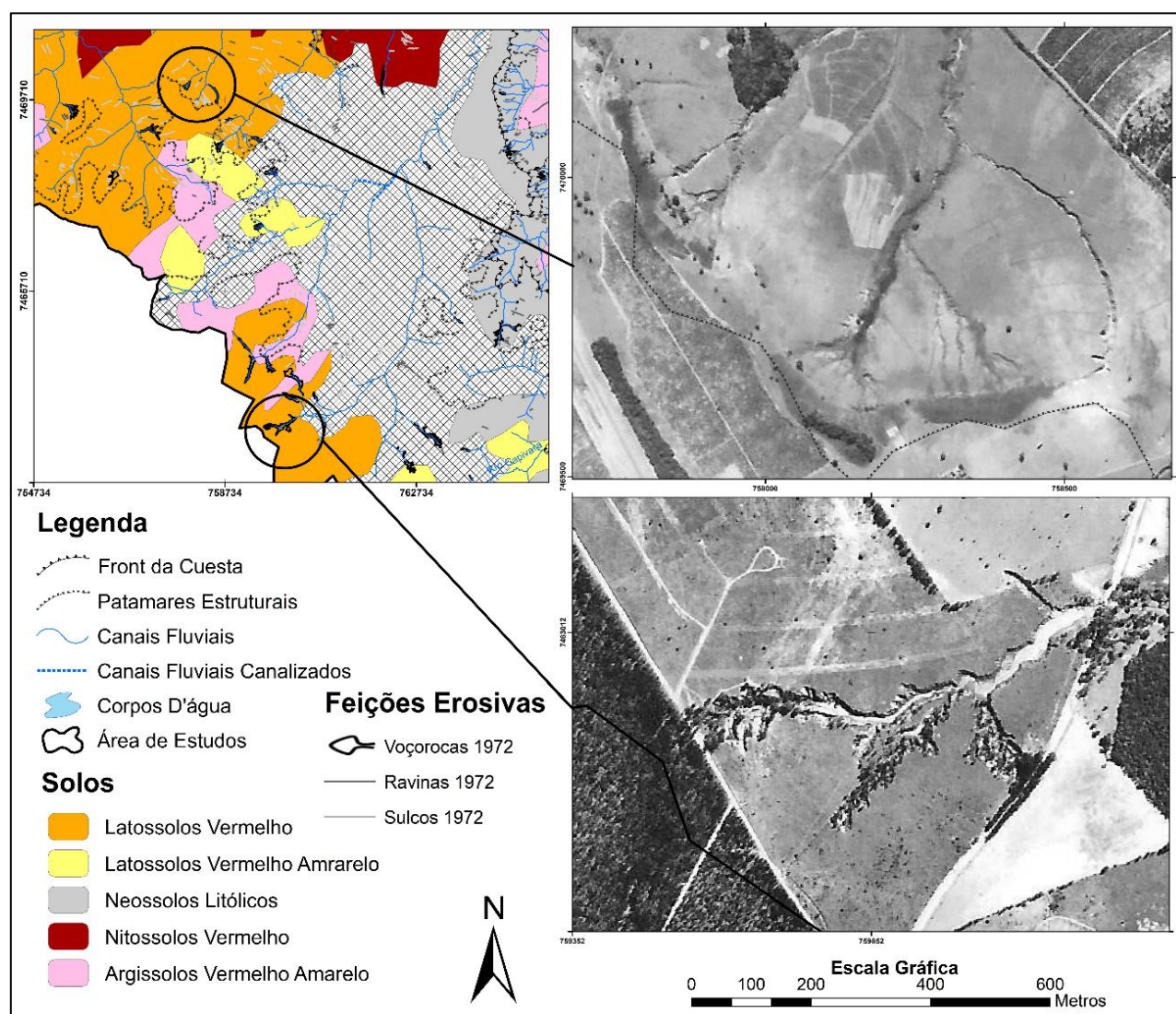


Figura 18. Feições erosivas sobre Latossolos Vermelhos. Fonte: Terrafoto, 1972; Rossi, 2017.

Tais constatações sugerem um teor mais argiloso e mais resistente dos Latossolos Vermelhos identificados próximo ao contato Serra Geral-Marília. Além disso, nestes setores foram constatadas também maiores concentrações de sulcos e ravinamentos (Figura 9), o que sugere maior relação deste local com processos de escoamento superficial, potencializado pelo declive acentuado em virtude do patamar estrutural. Por outro lado, as características dos voçorocamentos identificados nos Latossolos Vermelhos sobre a Formação Marília, mais extensos e com mais ramificações a montante, semelhantes àquelas identificados sobre os Latossolos Vermelho-Amarelo (Figura 9 e 18), sugere um teor mais arenoso dos Latossolos Vermelhos nestes locais. Esta condição lhes

atribui maior suscetibilidade ao desenvolvimento de voçorocamentos em razão dos fluxos de escoamentos subsuperficial, semelhante às condições identificadas por Arraes, Bueno e Pissarra (2010) e conforme às informações do IAC (2014) segundo o qual a elevada permeabilidade e baixa coesão os torna especialmente sensível à degradação por voçorocamentos.

No caso dos Nitossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos, a sobreposição com as classes de densidade de feições erosivas lineares apresentam semelhanças com dinâmica registrada sobre o *front* e sobre as Formações Botucatu e Serra Geral. Os Neossolos Litólicos correspondem a, respectivamente 10,3% e 11,9% dos terrenos sob as classes II e III, ao passo que os Nitossolos Vermelhos possuem, respectivamente, 25,7% e 21,3% de sobreposição com as mesmas classes para o ano de 1972 (Tabela 3, Figura 16). Concomitantemente, em 2010, os Neossolos Litólicos sustentam, respectivamente 15,5% e 12,6% da área das Classes II e III enquanto os Nitossolos sustentam, respectivamente, 21,1% e 21,3% da área destas mesmas classes (Tabela 3, Figura 17).

Mesmo com a textura argilosa dos Nitossolos Vermelhos e dos Neossolos Litólicos quando de origem basáltica (IAC, 2014; ROSSI, 2017), em Botucatu as feições erosivas associadas a estas coberturas podem se desenvolver em razão das altas declividades, mas também devido à proximidade com superfícies mais arenosas (Figura 15b). Tal condição foi descrita por Stefanuto *et al* (2022) em estudo acerca de feições erosivas sobre o *front* da *cuesta* em Analândia (SP), em transições entre solos mais argilosos associados ao embasamento basáltico e mais arenosos oriundos dos arenitos Botucatu e Passa Quatro. De acordo com os autores, os solos mais argilosos possuem menores taxas de infiltração durante a estação úmida, agregando energia ao escoamento superficial que, ao atingir as coberturas vizinhas, mais arenosas e menos resistentes, provocam o desenvolvimento de sulcos e ravinamentos.

No caso dos Neossolos Litólicos, sua baixa profundidade e coesão (IAC, 2014) também contribuem com a maior suscetibilidade ao desenvolvimento de feições erosivas lineares em regiões de relevo *cuestiforme*. Daniel e Vieira (2015) identificaram neossolos de matriz arenítica no sopé da *cuesta* de São Pedro (SP) especialmente propensos ao voçorocamento. De modo análogo, Bezerra *et al* (2009) constataram a alta suscetibilidade erosiva em material arenoso e inconsolidado, potencializada pela energia do relevo, nos depósitos coluvionares na base do Planalto Marília.

Outra influência dos Neossolos Litólicos e Nitossolos Vermelhos sobre a dinâmica erosiva linear no *front* da *cuesta* está relacionada às características morfodinâmicas das feições erosivas lineares. Além da maior frequência de sulcos e ravinas em razão do declive, as voçorocas destes setores tendem a ser menores, mais estreitas e com menos ramificações (Figura 11), diferentemente dos voçorocamentos alargados, ramificados e mais profundos encontrados sobre os latossolos do reverso e a Depressão Periférica. Esse fato provavelmente está relacionado a maior resistência dos Nitossolos Vermelhos e à menor profundidade dos Neossolos litólicos encontrados nos terrenos mais declivosos.

No caso da influência pedológica sobre as erosões da Depressão Periférica, estas se desenvolvem sobre os contatos entre os Argissolos Vermelho Amarelo e os Latossolos Vermelho Amarelo. Em 1972, os Argissolos Vermelho-Amarelo sustentam 14,6% da área da Classe IV e 12,1% da área da Classe V (Tabela 3, Figura 16). Já no cenário de 2010, nota-se uma intensificação da densidade de feições erosivas lineares nos Argissolos Vermelho-Amarelo, fazendo com que estes passem a sustentar 26,3% dos terrenos inseridos na Classe IV e 26,0% dos terrenos inseridos na Classe V (Tabela 3, Figura 17).

A bibliografia consultada aponta que os Argissolos paulistas são caracterizados por sua alta erodibilidade ou média a muito alta erodibilidade (SILVA; ALVAREZ, 2005; IAC, 2014; CORRÊA; MORAES; PINTO, 2015; ROSSI, 2017). Essa característica estaria associada principalmente à baixa coesão dos horizontes superficiais mais arenosos e a baixa permeabilidade dos horizontes subsuperficiais, com maior teor de argilas, proporcionando maior suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos em consequência da variação no gradiente textural entre os horizontes (IAC, 2014; DEMARCHI; ZIMBACK, 2014; CORRÊA, MORAES, PINTO, 2015; SILVA; LUPINACCI, 2021).

Porém, o que foi identificado é que as maiores classes de densidade de feições erosivas lineares estão associadas aos Argissolos Vermelho-Amarelo nos setores de contato com os Latossolos Vermelho-Amarelo (Figura 12c). Possivelmente, a transição dos latossolos para os argissolos estão associadas a variações granulométricas em subsuperfície que potencializam o desenvolvimento de processos erosivos, seja em razão do gradiente textural, seja devido as menores resistências dos latossolos (Figura 19). De acordo com Nóbrega *et al* (2023) as variações no gradiente textural entre os horizontes favorece a ocorrência de fluxos hídricos subsuperficiais e consequente o alargamento e ramificação da feição a montante devido ao processo de *pipping*.



Figura 19. Feições erosivas na Depressão Periférica sobre Latossolos Vermelho-Amarelo. Próximo à Usina Indiana (Botucatu – SP). Fonte: Os autores, 31/05/2021.

5. Conclusões

O cruzamento entre os documentos cartográficos identificou elevada concentração de voçorocamentos no reverso cuestiforme, nas cabeceiras de drenagem, fortemente associadas aos contatos entre litologias mais arenosas (Formação Marília ou depósitos Pleistocênicos-Pliocênicos), com litologias menos permeáveis, como a Serra Geral. Tais contatos podem ainda ser marcados por patamares estruturais, potencializando a ação erosiva em razão do declive. Além disso, as características pedológicas do reverso também tiveram sua importância na dinâmica erosiva, uma vez que nas cabeceiras de drenagem foram registradas voçorocas majoritariamente sobre Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo que, além de suscetíveis ao desenvolvimento destes processos, influenciam na morfodinâmica destas feições, em razão de sua propensão à evolução, alargamento e ramificação.

Outro setor de concentração de feições erosivas lineares, principalmente sulcos, ravinas e pequenas voçorocas, é o *front* cuestiforme. Estas feições erosivas são potencializadas pelo declive acentuado, o comprimento das vertentes e o material coluvionar na base, menos resistente. O embasamento litológico e as coberturas pedológicas também dinamizam estes processos. A relação dos Nitossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos com as classes de densidade de feições erosivas lineares sugere que a transição de coberturas mais argilosas e menos permeáveis para aquelas mais arenosas e menos resistentes seja um fator potencializador do desenvolvimento de feições associadas ao escoamento superficial.

Na Depressão Periférica, os grandes voçorocamentos também foram identificados em setores de transições litológicas e pedológicas, no caso da Formação Pirambóia e depósitos Holocênicos e Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho-Amarelo. Tais resultados sugerem que este contato favorece o desenvolvimento destas feições em razão da descontinuidade textural entre os horizontes, o que pode interferir na dinâmica do escoamento subsuperficial.

Deste modo, fica evidente a influência do declive, vinculado ao *front*, e de contatos litológicos e pedológicos no desenvolvimento de feições erosivas lineares na região de *cuestas* em Botucatu. A transição entre formações e coberturas heterogêneas, típica de relevos de *cuestas*, em razão da elevada geodiversidade destes ambientes, são um elemento fundamental para compreender e prevenir a degradação ambiental por processos erosivos acelerados. Além disso, é preciso reafirmar que o uso da terra deve ser analisado em trabalhos futuros visto que podem se constituir em um fator decisivo na degradação dos solos. Por esse motivo, o conhecimento acerca da morfodinâmica das regiões de *cuestas* é fundamental para subsidiar uma política ambiental que considere suas especificidades, a fim de garantir a preservação e conservação dos solos e demais recursos e processos naturais.

Contribuições dos Autores: Rafael Vilela de Andrade: Concepção; Metodologia; Análise Formal; Investigação; Redação – versão inicial. Cenira Maria Lupinacci: Concepção; Metodologia; Validação; Redação – Versão Final.

Agradecimentos: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de mestrado – Número do processo: 88887.542454/2020-00

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

1. AB'SABER, A. N. A Terra Paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5 - 38, 1956.
2. AB'SABER, A. N. Regiões de Circundesnudação Pós-Cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, p. 3–21, 1949.
3. ANDRADE; R. V.; LUPINACCI, C. M. PROPOSTA PARA A CARTOGRAFIA DE FAIXA DE PROTEÇÃO DO REVERSO DAS CUESTAS: UM ESTUDO DE CASO EM BOTUCATU (SP). **Caderno Prudentino de Geografia**. n. 43, v. 2, p. 75-96. 2021
4. ANDRADE; R. V.; LUPINACCI, C. M. . Análise da densidade de feições erosivas lineares como subsídio ao estudo da paisagem. **Agua y Territorio** n. 23, p. 157-170. 2024
5. ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. ESTIMATIVA DA ERODIBILIDADE DO SOLO PARA FINS CONSERVACIONISTAS NA MICROBACIA Córrego do TIJUCO, SP. **Bioscience Journal**, v. 26, n.6, p. 849-857, 2010
6. BEZERRA, M. A.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R. CASADO, F. C. Análise geoambiental da região de marília, SP: Suscetibilidade a processos erosivos frente ao histórico de ocupação da área. **Geociências**, v. 28, n. 4, p. 425–440, 2009.
7. CORRÊA, E. A.; MORAES, I. C.; LUPINACCI, C. M.; PINTO, S. A. F. Influência do cultivo de cana-de-açúcar nas perdas de solo por erosão hídrica em Cambissolos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, p. 231-243, 2018.
8. CORTÊS, A. R. P.; PERINOTTO, J. A. J. Fácies e associação de fácies da Formação Piramboia na região de Descalvado (SP). **Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 15, n. 3-4, p. 23-40, 2015
9. DANIEL, E., &VIEIRA, B. C. A Evolução Das Feições Erosivas Da Bacia Do Córrego Espreado, São Pedro (SP). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiana, v. 35, n. 2, p. 339–358. 2015
10. DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 29, n.2, p.102-114, 2014
11. DEN ECKHAUT, 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
12. FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 486p
13. 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.
14. GOUDIE, A. S.; **The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future**. 7. ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2013. 410 p.
15. HARTMANN, L. A. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente. **Ciência e Natura, Santa Maria**, v. 36 Ed. Especial, 2014, p. 173–182
16. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Solos do Estado de São Paulo**. 2014. Available at: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/> Accessed: April 09, 2021

17. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981b. v.1.
18. LABRIÈRE, N.; LOCATELLI, B.; LAUMONIER, Y.; FREYCON, V.; BERNOUX, M. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 203, p. 127–139, 2015.
19. MILANI, E. J.; HENRIQUE, J.; MELO, G.; SOUZA, P. A. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências - Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.
20. MONTGOMERY, D. R. Is agriculture eroding civilization's foundation? **GSA Today**. V. 17, n. 10, p. 4-9. 2007
21. NÓBREGA, M. T.; SILVEIRA, H.; BECKAUSER, M. C.; BONIFÁCIO, C. M.; BALDO, M. C. As voçorocas do Noroeste do Paraná: locais preferenciais de ocorrência na paisagem. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. ESPECIAL, 2023
22. OLIVEIRA, Marcelo Accioly Teixeira de. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) 1999. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p.
23. PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro Ocidental da Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, 1976.
24. PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1983. 186p.
25. PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINHO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo, 2005.
26. PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. DE. From the semiarid landscapes of southwestern USA to the wet tropical zone of southeastern Brazil: Reflections on the development of cuestas, pediments, and talus. **Earth-Science Reviews**. v.172, p. 27-42, 2017.
27. ROSS, J. L. Sanches (org.). **Geografia do Brasil**. São Paulo: EdUSP, 1996. 546p.
28. ROSSI, M. 2017. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p. (includes Maps)
29. SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos Processos Erosivos. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) 1999. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p.
30. 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.
31. SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33–41, 2005.
32. SCHMIDT, K. H. The significance of scarp retreat for cenozoic landform evolution on the Colorado Plateau, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 14, n. 2, p. 93–105, 1989.
33. 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.
34. 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.
35. SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Feições Erosivas Lineares em Ambientes de Cuesta: estudo de caso no interior paulista. **Geografia (Londrina)**, v. 30. n. 1. pp. 421 – 437, 2021.

36. SOUZA, T. A.; OLIVEIRA, R. C. Avaliação da potencialidade de imagens tridimensionais em meio digital para o mapeamento geomorfológico. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1348 – 1355, 2012
37. STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M.; CARVALHO, F. FRANCOS, M.; ÚBEDA, X. An evaluation of erosion in cuesta relief: São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**. V. 398, p. 108049. 2022
38. TRICART, J. **Principes et méthodes de lagéomorphologie**. Paris: Masson, 1965.
39. VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAN, R. A. van. **ITC System of geomorphological survey**. Manual ITC Textbook, Netherlands: Enschede. V. 1, cap. 8, 1975.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.