

## Análise da densidade de feições erosivas lineares como subsídio ao estudo da paisagem

*Análisis de la densidad de formas erosivas lineales como complemento al estudio del paisaje*

**Rafael Vilela de Andrade**

UNESP

Rio Claro. Brasil

rafael.v.andrade@unesp.br

 ORCID: 0000-0001-7205-4524

**Cenira Maria Lupinacci**

UNESP

Rio Claro. Brasil

cenira.lupinacci@unesp.br

 ORCID: 0000-0002-4732-1421

### Informações sobre o item

Recibido: 27/07/2022

Revisado: 08/05/2023

Aceptado: 22/06/2023

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.23.7285

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).  
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

### RESUMO

As feições erosivas constituem marcas na paisagem que revelam, ou até denunciam, setores onde o uso da terra compromete a qualidade dos solos. A fim de identificar estes terrenos e analisar os tipos de relações que se estabelecem no local, foi elaborado o Mapa de Densidade de Feições Erosivas Lineares (2010/2011) de um setor do município de Botucatu (Brasil) marcado pelo relevo de *cuestas*. O cruzamento do Mapa de Densidade de Feições Erosivas Lineares (2010/2011) com o Mapa de Uso da Terra (2010/2011) revelou que as classes mais altas de densidade de feições erosivas localizam-se sobre pastagens, mas que, frequentemente são ativadas pelo despejo das águas pluviais de áreas urbanas ou rodovias do entorno. Dessa forma, o mapa de densidade de feições erosivas lineares demonstrou ser um instrumento eficiente na análise da paisagem, podendo contribuir também como desenvolvimento de um planejamento ambiental mais adequado à conservação dos solos.

---

**PALAVRAS-CHAVE:** Cartografia, Dinâmica erosiva, Uso da terra, Paisagem.

---

### RESUMEN

Las formas erosivas revelan o incluso denuncian lugares donde el uso de la tierra degrada la calidad del suelo. Para identificar y analizar estos terrenos, se elaboró un Mapa de Densidad de Formas Erosivas Lineales de un área de relieve de *cuesta* en el municipio de Botucatu (Brasil). El análisis del Mapa de Densidad de Formas Erosivas Lineales (2010/2011) y el Mapa de Uso de la Tierra (2010/2011) mostró que las clases altas de densidad de formas erosivas se encuentran en los pastos, pero a menudo son provocadas por la escorrentía de las áreas urbanas o las carreteras. Por lo tanto, el mapa de densidad de formas erosivas lineales demostró ser un instrumento eficiente para el análisis del paisaje y también podría contribuir con la conservación de los suelos.

---

**PALABRAS CLAVE:** Cartografía, Dinámica erosiva, Uso del suelo, Paisaje.

---

## *Analysis of the density of linear erosive features as a subsidy to the study of the landscape*

### ABSTRACT

Erosive features can reveal or even denounce places where land use degrades soil quality. In order to identify and analyze these lands, a Density Map of Linear Erosive Features of a cuesta relief area in the municipality of Botucatu (Brazil) was elaborated. The analysis of the Linear Erosive Features Density Map (2010/2011) and the Land Use Map (2010/2011) showed that the highest density classes of erosive features are located on pastures, but are often triggered by runoff from urban areas or highways. Therefore, the map of density of linear erosive features proved to be an efficient instrument for landscape analysis, and could also contribute to the conservation of soils.

**KEYWORDS:** Cartography, Erosive dynamics, Land use, Landscape.

## *Analyse de la densité des traits érosifs linéaires comme subvention à l'étude du paysage*

### RÉSUMÉ

Des éléments érosifs révèlent voire dénoncent des lieux où l'occupation des sols dégrade la qualité des sols. Afin d'identifier et d'analyser ces terres, une Carte de Densité des Éléments Érosifs Linéaires (2010/2011) d'une zone de relief de cuesta dans la municipalité de Botucatu (Brésil) a été élaborée. L'analyse de la Carte de Densité des Éléments Érosifs Linéaires (2010/2011) et de la Carte

D'utilisation des Terres (2010/2011) a montré que les classes de densité les plus élevées d'éléments érosifs sont situées sur les pâturages, mais sont souvent déclenchées par le ruissellement des zones urbaines ou des autoroutes. Par conséquent, la carte de densité des éléments érosifs linéaires s'est avérée être un instrument efficace pour l'analyse du paysage et pourrait également contribuer à la conservation des sols.

**MOTS CLÉ:** Cartographie, Dynamique érosive, Occupation du sol, Paysage.

## *Analisi della densità delle tratti erosivi lineari come sussidio allo studio del paesaggio*

### RIASSUNTO

tratti erosivi rivelano o addirittura denunciano luoghi in cui l'uso del suolo degrada la qualità del suolo. Per identificare e analizzare questi terreni è stata elaborata una Carta di Densità delle Tratti Erosive Lineari (2010/2011) di un'area di rilievo di cuesta nel comune di Botucatu (Brasile). L'analisi della Carta di Densità delle Tratti Erosive Lineari (2010/2011) e della Uso della Terra (2010/2011) ha mostrato che le classi di densità più elevate di caratteristiche erosive si trovano sui pascoli, ma sono spesso innescate dal deflusso dalle aree urbane o dalle autostrade. Pertanto, la mappa della densità delle tratti erosive lineari si è rivelata uno strumento efficiente per l'analisi del paesaggio e potrebbe anche contribuire alla conservazione dei suoli.

**PAROLE CHIAVE:** Cartografia, Dinamica erosiva, Uso del suolo, Paesaggio.

## Introdução

As escolas alemãs, francesas, russas e norte-americanas utilizaram o conceito de paisagem sob algumas variações com relação ao seu sentido. Apesar das diversas abordagens que enfatizam características distintas ao tratar da paisagem, é um consenso entre geógrafos que esta resulta da interação dos elementos do espaço, tanto os naturais como os humanos<sup>1</sup>. Dessa feita, em oposição a conceitos de paisagem natural e paisagem cultural, o sentido do termo paisagem é propor uma abordagem integrada destes fatores<sup>2</sup>.

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução<sup>3</sup>.

Esse conceito destaca a importância da interação dos fatores humanos e naturais na construção da paisagem, ressaltando seu aspecto dinâmico e afirmando que a paisagem provém daquela relação. Assim, depreende-se que a análise das características morfológicas e fisionômicas da paisagem possibilita a compreensão da natureza das relações espaciais responsáveis pela produção daquelas formas.

Em vista disso, entende-se que os processos acelerados de perda de solo frequentemente originam feições que ficam marcadas na paisagem revelando, ou até denunciando, uma relação em desequilíbrio. Mesmo que ocorram processos naturais de erosão dos solos – a erosão geológica –, a aceleração da ação erosiva nesses microambientes diz respeito às práticas humanas, frequentemente as transformações no uso da terra<sup>4</sup>. Como exemplo, pode-se citar o desmatamento que, ao converter determinadas áreas em pastagens, campos de cultivos ou áreas urbanas<sup>5</sup>, perturba processos naturais dinâmicos e estáveis, trazendo como consequência a degradação dos solos e marcando a paisagem com sulcos, com ravinas e com voçorocas.

Portanto, a identificação e a quantificação das feições erosivas lineares (sulcos, ravinas e voçorocas)

podem contribuir para o entendimento da paisagem ao possibilitar uma avaliação de como as atividades antrópicas impactam os solos em determinados locais. Em razão disso, nesse trabalho visa-se discutir o potencial do mapa de densidade de feições erosivas lineares na análise da paisagem. Esta técnica se propõe a identificar os setores mais severamente atingidos por processos erosivos lineares, auxiliando no diagnóstico dos tipos de uso da terra inadequados à conservação dos solos quando instalados sobre terrenos com determinadas condições físicas. Ademais, a análise dos dados fornecidos pelo mapeamento pode servir como subsídio científico ao planejamento territorial, a partir da compreensão de quais tipos de uso da terra não podem ser introduzidos em determinados setores do terreno.

Nesse contexto, foi elaborado um mapa de densidade de feições erosivas lineares de uma área de relevos cuestiformes inserida no município de Botucatu, no estado de São Paulo (SP), Brasil. Esta técnica foi aplicada às áreas de drenagem dos canais anaclinais do município, ou seja, aqueles que tem suas nascentes no reverso cuestiforme e fluem em direção à Depressão Periférica. De modo auxiliar, mapeou-se o uso da terra desta área, possibilitando cruzar os dados espaciais e avaliar as relações entre os tipos de uso da terra e as classes de densidade de feições erosivas lineares estabelecidas localmente. Tal procedimento possibilitou avaliar como as diferentes classes de uso da terra podem impactar no desenvolvimento de feições erosivas.

## Técnicas Cartográficas

Para este trabalho foram elaborados dois documentos cartográficos, submetidos à análise em conjunto, a fim de identificar as relações que se estabelecem entre as feições erosivas e os tipos de uso da terra em Botucatu. No processo de concepção destes documentos utilizou-se como base as curvas de nível e o sistema de drenagem das cartas topográficas em escala de 1:10.000, elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), e ortofotos digitais da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA (EMPLASA) dos anos 2010/2011. De posse destes recursos, os mapeamentos foram elaborados no programa ArcGIS 10.5 segundo a descrição que se segue.

O Mapa de Densidade de Feições Erosivas Lineares (2010/2011) tem por objetivo quantificar e representar espacialmente a distribuição das feições erosivas lineares. Essa proposta foi inspirada nos mapas de densidade

<sup>1</sup> Maximiano, 2004.

<sup>2</sup> Vitte, 2007.

<sup>3</sup> Bertrand, 2004, 141.

<sup>4</sup> Blanco; Lal, 2008.

<sup>5</sup> Gallegos Reina, 2022.

de drenagem que, a partir da quantificação do comprimento dos canais fluviais por unidade de área, identificam os setores do terreno com maior potencial erosivo pela ação fluvial<sup>6</sup>. De modo análogo, o mapa de densidade de feições erosivas lineares consiste em identificar, mapear e quantificar as feições erosivas por unidade de área, indicando, portanto, os locais onde os processos erosivos lineares se concentram, possibilitando diagnosticar as causas desse fenômeno.

A primeira etapa deste processo consiste, portanto, na identificação e mapeamento das feições erosivas lineares, as quais foram classificadas em três tipos. Os sulcos erosivos correspondem às feições menos desenvolvidas e indicam o estágio inicial do processo de erosão linear. São caracterizados pela sua baixa profundidade e pela possibilidade de obliteração por meio do uso de técnicas convencionais do manejo dos solos. A identificação dos sulcos nas ortofotos digitais da EMPLASA (2010/2011) se baseou no reconhecimento de incisões no terreno no sentido do declive desenvolvidas em razão do escoamento pluvial concentrado e foram mapeadas como linhas sobre as incisões, conforme o Quadro 1.



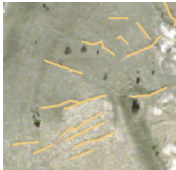






Os ravinamentos evidenciam o estágio intermediário do processo de desenvolvimento das feições lineares e se diferenciam dos sulcos erosivos pelo aprofundamento e pela presença dos taludes erosivos. Por

esse motivo, as ravinas foram identificadas nas ortofotos digitais como incisões profundas e foram mapeadas da mesma forma que os sulcos, como linhas sobre as incisões.

Por fim, as voçorocas correspondem ao estágio final e mais desenvolvido das feições erosivas lineares, indicando terrenos severamente comprometidos. Apesar de existirem diversos critérios utilizados para definir as voçorocas, tanto na bibliografia nacional como internacional, neste trabalho adotou-se o critério dos autores que preveem o escoamento subsuperficial no interior da feição<sup>7</sup>. De acordo com os autores (op. cit.), o aprofundamento da incisão até o nível freático faz com que o escoamento subsuperficial seja acrescentado aos processos que atuam sobre o desenvolvimento da erosão, alterando a dinâmica evolutiva da feição. Como consequência, verifica-se a ocorrência do *piping*, que leva ao alargamento e ramificação da feição a montante, critério que foi utilizado para a identificação das voçorocas nas ortofotos e, diferentemente das ravinas e sulcos, aquelas foram mapeadas por linhas sobre os taludes (Quadro 1).

Com relação ao processo de quantificação das feições, a fim de analisar sua densidade, a área de estudos foi dividida por uma malha de quadrículas de 500 metros de lado, criada pela ferramenta *Create Fishnet*. Em seguida, as feições erosivas foram cortadas de acordo

Quadro 1. Classificação de Feições Erosivas

Feição Erosiva	Simbologia	Ortofotos (EMPLASA 2010/2011)	Resultado do Mapeamento
Sulcos			
Ravinas			
Voçorocas			

Fonte: os autores.

<sup>6</sup> Hubp, 1988.

<sup>7</sup> Fendrich, et al, 1997. Augustin; Aranha, 2006. Filho; Filho, 2014.

com os limites das quadrículas com o uso da ferramenta *Intersect*. Posteriormente, o comprimento – em metros – das feições erosivas foi calculado na tabela de atributos, utilizando o recurso *Calculate Geometry*. Ao final, os valores de comprimento das feições erosivas foram associados às quadrículas com o uso da opção *Join and Relates: join*. O resultado desses procedimentos é que o arquivo vetorial da malha quadriculada passou a conter três colunas: uma para os sulcos, uma para as ravinas e uma para as voçorocas, com a soma do comprimento das feições erosivas no interior de cada quadrícula. Essas colunas tiveram seus valores divididos pela área das células (250.000m<sup>2</sup>), gerando novas colunas contendo os valores de densidade de sulcos erosivos, de ravinas e de voçorocas para cada quadrícula.














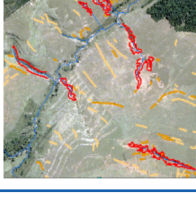

A partir de tais dados, inicialmente foram gerados três mapas: densidade de sulcos erosivos, densidade de ravinas e densidade de voçorocas. Para realizar a interpolação os valores foram atribuídos ao ponto central de cada célula, o que foi feito com o uso da ferramenta *Feature to Point*. Em seguida foi gerado um *Triangular Irregular Network (TIN)*, o qual, posteriormente foi convertido para o formato *raster* com o uso da ferramenta *Tin to Raster*.

A fim de agregar os dados para a construção do mapa de densidade de feições erosivas lineares, que inclui os três tipos de feições, as colunas com os valores de densidade de sulcos, ravinas e voçorocas foram somadas. Ressalta-se, porém, que os valores de densidade de sulcos erosivos foram multiplicados por 0,5 a fim de atribuir menor peso às áreas atingidas por este tipo de feição, uma vez que aquelas indicam um impacto menor sobre a degradação dos solos quando comparado às ravinas e voçorocas. Para os processos de espacialização do fenômeno, foram repetidos os mesmos procedimentos utilizados anteriormente na elaboração dos mapas de densidade de sulcos, de ravinas e de voçorocas.

Na sequência, os níveis de densidade de feições erosivas lineares foram agrupados em cinco classes – I a V – e os dados de densidade de feições erosivas lineares – em m/m<sup>2</sup> – foram convertidos em m/ha para melhor se adequarem aos dados de uso da terra, que são em hectares. A classificação dos valores de densidade de feições erosivas lineares seguiu intervalos exponenciais, sempre dobrando na classe seguinte: I: 0 –| 10m/ha; II: 10 –| 20m/ha; III: 20 –| 40m/ha; IV 40 –| 80m/ha; V: 80 –| 160m/ha, conforme ilustrado no Quadro 2.

O mapa de uso da terra (2010/2011) foi elaborado utilizando as mesmas ortofotos digitais para classificar os padrões de uso da terra. As classes foram identificadas

Quadro 2. Classes de Densidade de Feições Erosivas Lineares

Classe/Cor	Feições Erosivas	Fotografias Aéreas
I (0 -  10 m/ha) 		
II (10 -  20 m/ha) 		
III (20 -  40 m/ha) 		
IV (40 -  80 m/ha) 		
V (80 -  160 m/ha) 		



Fonte: os autores.

a partir da observação de padrões de tamanho e forma das parcelas, cor e textura da superfície<sup>8</sup>. Ao todo, foram classificadas 17 diferentes classes de uso, que estão ilustradas no Quadro 3 juntamente com o padrão de superfície observado nas ortofotos.

Por último, a quantificação das áreas de sobreposição entre as classes de densidade de feições erosivas lineares e as classes de uso da terra foi calculada com o uso da ferramenta *Intersect*. Na interface da ferramenta, são adicionados os arquivos referentes às classes de densidade de feições erosivas lineares e a classe de uso que se deseja calcular a sobreposição. Ao final do processamento é gerado um novo arquivo que indica as áreas de sobreposição da classe de uso com cada classe

<sup>8</sup> Ceron; Diniz, 1966.

## Quadro 3. Classes de Uso da Terra

Agrupamento	Uso da Terra/Cor	EMPLASA (2010/11)	Agrupamento	Uso da Terra/Cor	EMPLASA (2010/11)
Áreas Antrópicas não agrícolas	Urbanização Consolidada		Áreas Antrópicas Agropecuárias	Cana de Açúcar	
	Expansão Urbana			Cultivo Perene	
	Chácaras			Cultivo Temporário	
	Infraestrutura Rural			Silvicultura	
	Estradas Rurais			Pasto Limpo	
	Estradas Pavimentadas			Pasto Sujo	
	Ferrovias			Vegetação Florestal	
Áreas de Vegetação	Área de Mineração		Vegetação Herbácea		
			Corpos D'Água		

Fonte: os autores.

de densidade de feições erosivas lineares, sendo os valores em área obtidos por meio do comando *Calculate Geometry*, utilizando a tabela de atributos.

## Caracterização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho localiza-se sobre os relevos cuestiformes do município de Botucatu, SP, Brasil. A área foi delimitada segundo as superfícies de drenagem dos canais anaclinais do município, que têm suas nascentes no reverso e fluem no sentido da depressão, cruzando o degrau cuestiforme (Figura 1).

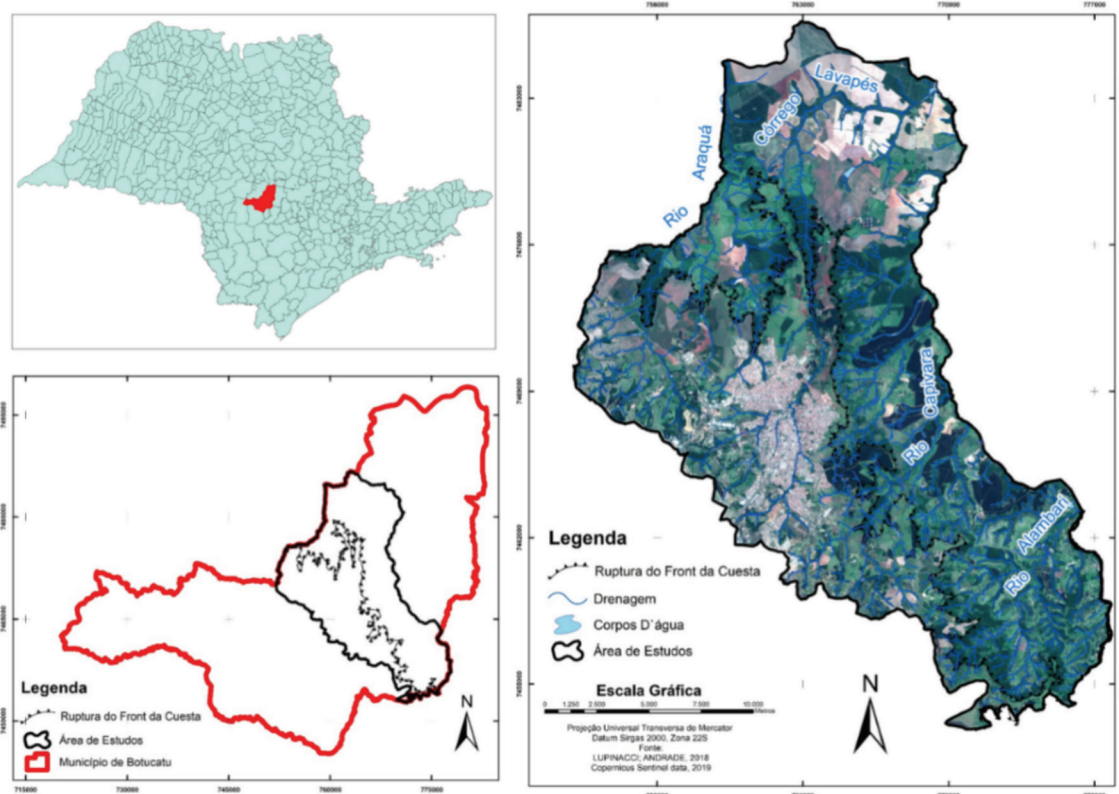
As chamadas Cuestas Paulistas, que marcam o relevo do interior do Estado de São Paulo com as maiores altitudes e maiores desníveis altimétricos<sup>9</sup>, se destacam na paisagem de Botucatu (SP). Essas formas de relevo evoluíram por circundenudação<sup>10</sup> e desenvolveram-se em razão de processos de erosão diferencial proporcionados, por sua vez, pelo contato entre os derrames basálticos da Formação Serra Geral, mais resistentes, com os arenitos friáveis da Formação Botucatu. Os elevados

desníveis altimétricos e os declives acentuados, característicos dessa região, tornam a paisagem mais suscetível à degradação por processos erosivos.

Quanto ao embasamento litológico, a área de estudo estende-se sobre as formações sedimentares e magmáticas da Bacia Sedimentar do Paraná, possuindo elevada geodiversidade. Nessa área investigada, portanto, estão presentes os arenitos da Formação Pirambóia, em especial na Depressão Periférica; os arenitos da Formação Botucatu, aflorando principalmente nos terrenos próximos à linha de ruptura do *front* da *cuesta*; os derrames basálticos da Formação Serra Geral, interdigitados com os arenitos eólicos da Formação Botucatu, que se concentram próximos do *front* e no reverso; e os arenitos fluviais da Formação Marília, no reverso da *cuesta* de Botucatu, sustentando os terrenos mais elevados da região<sup>11</sup>. Identificou-se também depósitos Pliocênicos-Pleistocênicos e depósitos Holocênicos, distribuídos por diversos setores da área de estudos<sup>11</sup>.

Essa diversidade geológica implica em elevada variedade de classes de solos na região. Na Depressão Periférica verifica-se a ocorrência dos Argissolos

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Os autores.

<sup>9</sup> Ab'Saber, 1956.

<sup>10</sup> Ab'Saber, 1949.

<sup>11</sup> São Paulo, 1984.

Vermelho-Amarelo e dos Latossolos Vermelho-Amarelo associados aos setores da Formação Pirambóia. No reverso são identificados principalmente os Nitossolos Vermelhos e os Latossolos Vermelhos. Associados aos derrames basálticos e próximo ao *front* encontram-se também os Neossolos Litólicos, pouco desenvolvidos<sup>12</sup>.

É possível constatar que as características físicas de Botucatu – em razão da presença de declives acentuados, de variações litológicas e da diversidade de solos –, contribuem ao desenvolvimento de processos erosivos lineares. Dessa forma, o uso da terra indiscriminado e mal planejado sobre estes ambientes possui elevado potencial para a degradação dos solos.

Com relação à ocupação humana, povos indígenas, como o Guarani, o Kaingang e o Oti-xavante, já viviam na região anteriormente à chegada dos colonizadores, deixando marcas que sobreviveram até o presente, como, por exemplo, o nome da cidade, cuja etimologia vem do tupi: *Ybitu-katu*, que significa “bons ares”, em referência ao clima mais ameno da região<sup>13</sup>. Já a ocupação colonizadora inicia-se no século XVIII com a fundação de vilas, construídas ao longo das rotas que eram abertas para acessar o interior do continente a partir do litoral. Essas povoações, que tinham como principal atividade econômica a criação de gado a fim de abastecer o mercado da região, vão gradualmente aumentando sua população e diversificando suas atividades econômicas com o cultivo de gêneros agrícolas nas terras férteis – oriundas da decomposição do basalto –, principalmente o café e o algodão<sup>14</sup>.

A chegada da ferrovia sorocabana em 1888 marca um importante momento para a integração econômica da região em razão da possibilidade de escoamento da produção agrícola, que se dinamiza por um tempo, mas, com a crise do café no início do século XX, aliada a outros fatores locais, perde força<sup>14</sup>. Atualmente, o meio rural é caracterizado por pastagens, canaviais, silvicultura e outros cultivos diversificados e o meio urbano encontra-se em crescente expansão. A população do município é estimada em 149.718 habitantes, com apenas cerca de 3 % dos domicílios no município localizados na zona rural<sup>15</sup>.

## Resultados

A análise da densidade de sulcos erosivos, representados no mapa 1, permitiu constatar a ampla distribuição desse tipo de feição por vários setores da área estudada, tanto na Depressão Periférica como no reverso cuestasiforme, sugerindo uma forte relação desse tipo de feição erosiva com o uso da terra e demonstrando a facilidade com que os sulcos se desenvolvem em diversos setores do relevo. Os ravinamentos, por sua vez, concentram-se majoritariamente próximos ao *front* cuestasiforme, indicando maior associação desse tipo de feição com os setores de maior declive. No caso da densidade de voçorocas verificaram-se manchas de altas densidades na Depressão Periférica e no reverso, principalmente nas cabeceiras de drenagem. Destaca-se ainda que, em geral, os setores marcados no mapa de densidade de voçorocas indicam manchas que frequentemente atingem a terceira ou quarta classe de densidade de feições erosivas lineares, demonstrando o peso que este tipo de feição erosiva representa para o processamento da densidade.

Outra avaliação que a análise da densidade de sulcos, ravinas e voçorocas possibilita é que estas feições frequentemente dão destaque aos mesmos lugares. Mesmo que em determinado local predomine algum tipo de feição, as demais também estão presentes, caracterizando a existência de uma relação de vizinhança. Tal relação indica que o desenvolvimento das diferentes feições erosivas corresponde a processos-resposta aos mesmos condicionantes e que, portanto, uma área submetida a determinadas condições dará origem aos três tipos de feições, as quais podem, inclusive, evoluir de uma para a outra.

Com relação ao mapa de densidade de feições erosivas lineares, que corresponde à compilação das densidades de sulcos, de ravinas e de voçorocas, percebe-se uma forte associação entre as classes II e III e a linha de ruptura do *front* da *cuesta*, sugerindo que as altas declividades desses terrenos influenciam no desenvolvimento de sulcos e de ravinas, podendo evoluir para voçorocas a depender das condições locais. Já as manchas das classes IV e V são identificadas principalmente no reverso, próximas às cabeceiras de drenagem, e na Depressão Periférica e marcam setores atingidos por grandes voçorocamentos, associados também a sulcos e a ravinas.

Quando as classes de densidade de feições erosivas lineares são sobrepostas às classes de uso da terra, constata-se que os pastos limpos – que correspondem

<sup>12</sup> Rossi, 2017.

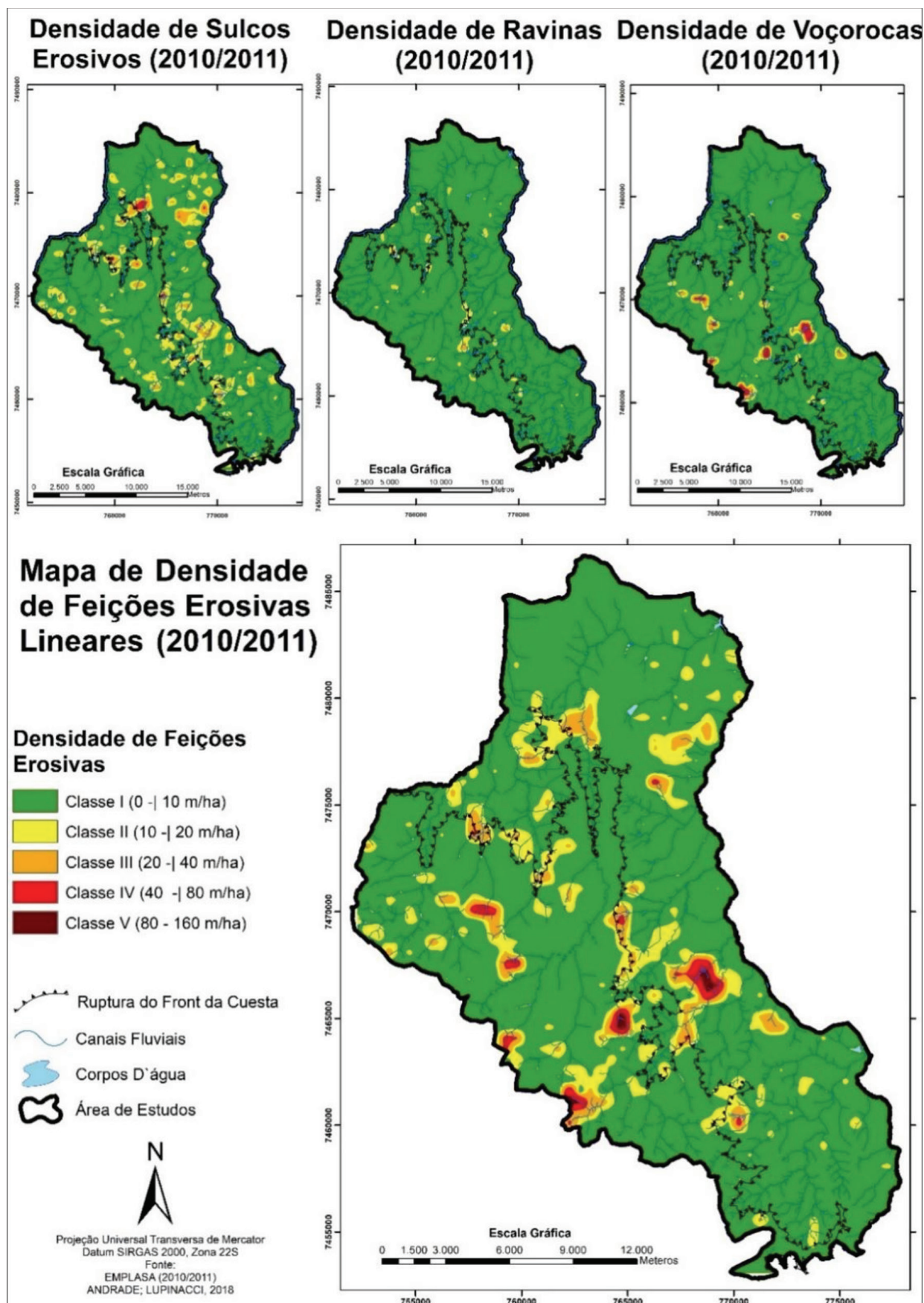
<sup>13</sup> Mello, 2012.

<sup>14</sup> Figueroa, 2012.

<sup>15</sup> IBGE, 2022.



Mapa 1. Mapas de Densidade de Feições Erosivas Lineares



Fonte: os autores.

ao tipo de uso de maior ocorrência na área de estudos, ocupando 34,6 % da área total – aumentam sua participação nas classes mais altas de densidade de feições erosivas lineares, ocupando 54,4 % das áreas inseridas na Classe II; 52,7 % das áreas inseridas na Classe III; 67,4

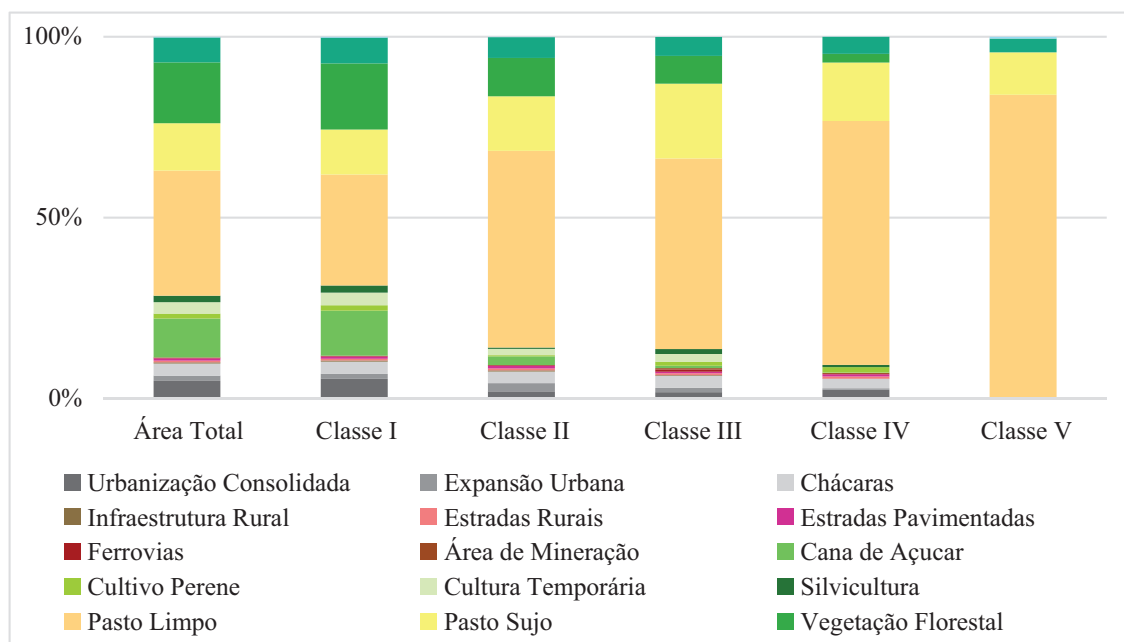
% das áreas inseridas na classe IV; e 84,0 % das áreas inseridas na Classe V (Tabela 1; Gráfico 1). Tais dados demonstram haver uma inequívoca relação entre as pastagens e o desenvolvimento de processos erosivos lineares.

**Tabela 1. Sobreposição entre as Classes de Densidade de Feições Erosivas Lineares e as Classes de Uso da Terra**

%	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Área Total
Urbanização Consolidada	5,4 %	2,0 %	1,8 %	2,4 %	0,0 %	4,9 %
Expansão Urbana	1,4 %	2,3 %	1,2 %	0,4 %	0,0 %	1,5 %
Chácaras	3,4 %	3,2 %	3,4 %	2,6 %	0,0 %	3,3 %
Infraestrutura Rural	0,3 %	0,3 %	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,3 %
Estradas Rurais	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,6 %	0,0 %	0,5 %
Estradas Pavimentadas	0,6 %	0,8 %	0,4 %	0,6 %	0,0 %	0,6 %
Ferrovias	0,2 %	0,2 %	0,6 %	0,1 %	0,0 %	0,2 %
Área de Mineração	0,0 %	0,0 %	0,4 %	0,3 %	0,0 %	0,1 %
Cana de Açúcar	12,5 %	2,4 %	0,7 %	0,1 %	0,0 %	10,8 %
Cultivo Perene	1,5 %	0,4 %	1,1 %	1,5 %	0,0 %	1,4 %
Cultura Temporária	3,4 %	1,7 %	2,1 %	0,0 %	0,0 %	3,2 %
Silvicultura	2,0 %	0,4 %	1,4 %	0,6 %	0,0 %	1,8 %
Pasto Limpo	30,6 %	54,4 %	52,7 %	67,4 %	84,0 %	34,6 %
Pasto Sujo	12,4 %	15,1 %	20,7 %	16,1 %	11,7 %	13,1 %
Vegetação Florestal	18,3 %	10,6 %	7,7 %	2,4 %	0,0 %	16,8 %
Vegetação Herbácea	7,1 %	5,8 %	5,2 %	4,7 %	3,8 %	6,9 %
Corpos d'água	0,2 %	0,1 %	0,1 %	0,0 %	0,5 %	0,2 %

Fonte: elaboração própria.

**Gráfico 1. Sobreposição entre as Classes de Densidade de Feições Erosivas Lineares e as Classes de Uso da Terra**



Fonte: elaboração própria.

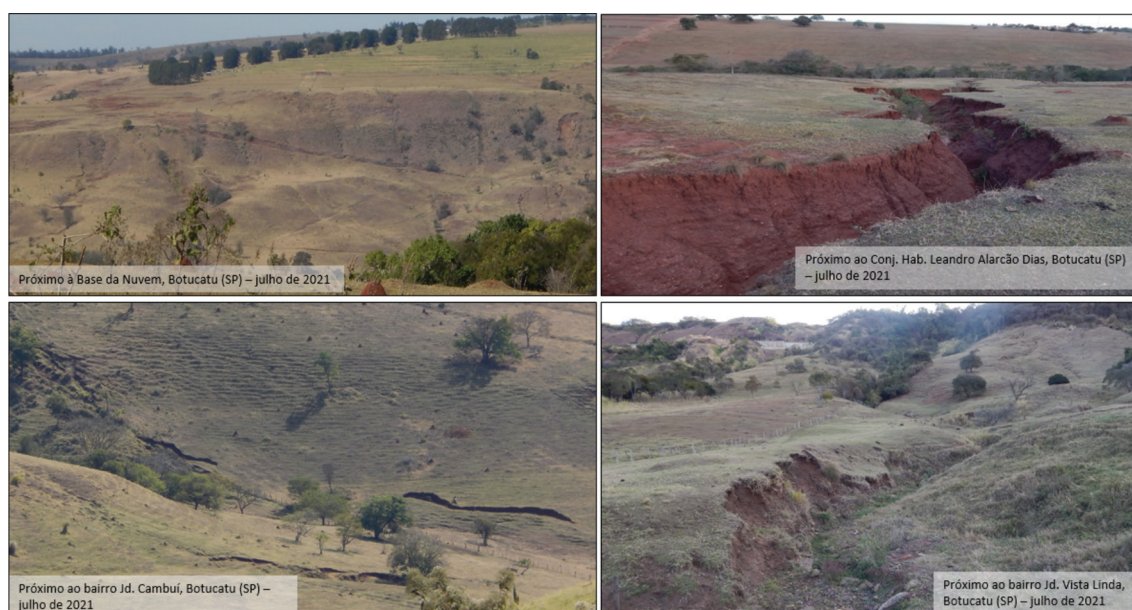
A relação entre os processos erosivos e as áreas de pastagens já é conhecida pela bibliografia. Diversos autores nacionais e internacionais relatam o desenvolvimento de feições erosivas em pastagens no interior paulista e em outras regiões do planeta<sup>16</sup>. A remoção da cobertura vegetal e a sua substituição por gramíneas para o pastoreio, especialmente em ambientes tropicais, sujeitos a altos índices pluviométricos, torna o solo mais exposto e suscetível à erosão por diversos processos, inclusive os lineares<sup>16</sup>. A diminuição do porte da cobertura vegetal reduz o amortecimento do impacto das gotas de chuva, que provocam a erosão por salpicamento. Já a redução da matéria orgânica na superfície e no solo e a menor profundidade dos enraizamentos levam à redução da taxa de infiltração e coesão do solo, aumentando sua erodibilidade.

No caso de Botucatu, observou-se ainda que terrenos de declive mais acentuado – em razão da dinâmica cuestasiforme – são destinados à pecuária em razão da limitação imposta pelo relevo à instalação de culturas agrícolas de tratamento mecanizado ou infraestruturas urbanas. Nesse caso, além das características das pastagens que favorecem o desenvolvimento de feições erosivas lineares, essa condição se potencializa pelo fato de diversos setores de maior declive, e, portanto, mais propensos ao desenvolvimento de feições, estarem submetidos a atividades pecuárias (Figura 2).

O intenso desenvolvimento de feições erosivas lineares nas áreas de pastagens pode estar relacionado também aos tipos de uso da terra identificados no entorno. A Figura 3 mostra como as áreas de urbanização consolidada, expansão urbana, estradas pavimentadas e ferrovias estão cercadas por manchas das altas classes de densidades de feições erosivas lineares. Apesar dessas classes de uso não possuírem uma sobreposição tão expressiva com as classes mais altas de densidade de feições erosivas lineares, a análise qualitativa da relação entre esses locais e as observações em campo mostram que, frequentemente, as erosões identificadas nas pastagens próximas a essas estruturas se desenvolvem em consequência da dinâmica do escoamento pluvial dessas coberturas impermeabilizadas, que despejam as águas pluviais sobre as pastagens do entorno.

A impermeabilização da superfície e a concentração dos fluxos de escoamento pluvial, quando concebidas de forma mal planejada, acarretam no despejo dessas águas sobre o solo, levando ao entalhamento de erosões profundas. Tais condições são encontradas também no município vizinho, São Manuel, também em São Paulo<sup>17</sup>, demonstrando que este é um problema recorrente na região. Esse processo ainda pode ser potencializado quando os despejos se dão sobre solos mais frágeis ou sobre terrenos de maior declive, próprios do desenvolvimento cuestasiforme (Figura 4). Com relação às

Figura 2. Feições erosivas em pastagens

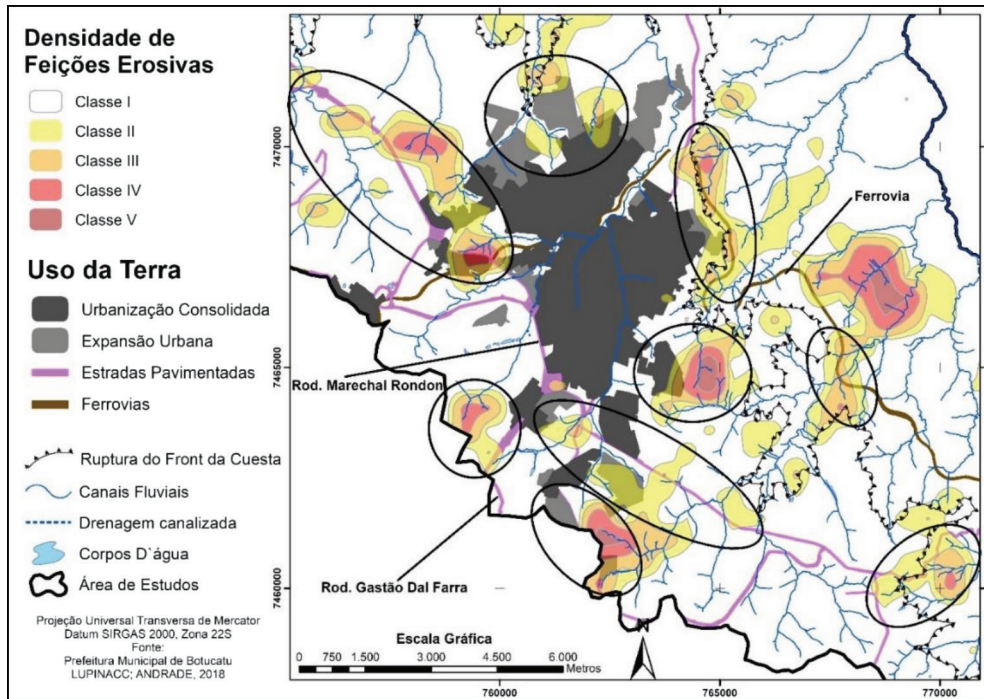


Fonte: os autores.

<sup>16</sup> Lal, 1983. Goudie, 2013. Zanatta, 2018. Stefanuto, 2019. Silva; Lupinacci, 2021.

<sup>17</sup> Pascoto, Furegatti, Peixoto, 2018.

Figura 3. Trecho do mapa de densidade de feições erosivas lineares no entorno da área urbana, rodovias e ferrovias



Fonte: os autores.

Figura 4. Voçorocas próximas a rodovias e à malha urbana



Fonte: os autores.

ferrovias, além da dinâmica elencada, verificou-se que os cortes no relevo, especialmente nos terrenos declivosos do *front*, também influenciam no aparecimento de sulcos e de ravinamentos.

Por fim, cabe lembrar que as culturas agrícolas – principalmente da cana de açúcar que ocupa 10,8 % do total da área de análise, assim como os cultivos perenes, as culturas temporárias e as áreas de silvicultura – apresentam fraca relação com as mais altas classes de densidade de feições erosivas lineares. No entanto, é válido ressaltar que, apesar da tênue relação com as feições lineares, outros trabalhos demonstram que os canaviais também influenciam na degradação dos solos

pela intensa erosão laminar<sup>18</sup>, da mesma forma, outras culturas agrícolas encontradas na área de estudo podem contribuir com a degradação dos solos através de outros processos.

### Considerações Finais

O mapa de densidade de feições erosivas lineares demonstrou ser um instrumento eficiente na identificação dos locais mais severamente atingidos por processos erosivos, indicando setores onde as características

<sup>18</sup> Corrêa et al, 2018.

naturais do terreno não são capazes de sustentar o uso da terra instaurado no local. A influência que o uso da terra demonstrou exercer sobre a dinâmica erosiva da região atribuiu destaque às pastagens como a atividade mais propensa ao desenvolvimento de feições erosivas lineares, fator potencializado ainda pela frequente instalação daquela atividade primária nas áreas de maior declive. Somado a isso, também ficou evidente que áreas urbanas, rodovias e ferrovias atuam na expansão de processos erosivos lineares em pastagens do entorno ao despejar as águas de escoamento pluvial e produzir cortes no relevo.

Em última análise, o mapa da densidade de feições erosivas lineares solidificou sua contribuição para uma mais ampla compreensão do conceito de paisagem, pois possibilitou conhecer – através do exemplo real investigado – e avaliar a natureza das relações entre os fatores antrópicos e naturais em determinada região. Dessa forma, é preciso destacar que, para compreender de maneira completa a dinâmica erosiva, é necessário analisar também as características naturais do ambiente em questão, uma vez que esta dinâmica é fruto da combinação dos fatores naturais e antrópicos. Por fim, entende-se que, para além das contribuições que o mapa da densidade de feições erosivas lineares pode trazer ao entendimento da paisagem, essa ferramenta também pode auxiliar na construção de um planejamento territorial que favoreça a conservação dos solos.

## Referências

- Ab'Saber, Aziz Nacib.** 1956: "A Terra Paulista". *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, (23), 5 - 38.
- Ab'Saber, Aziz Nacib.** 1949: "Regiões de Circundesnudação Pós-Cretácea, no Planalto Brasileiro". *Boletim Paulista de Geografia*, 1 (1), 3-21.
- Augustin, Cristina Helena Ribeiro Rocha; Aranha, Paulo Roberto Antunes.** 2006: "Piping em Área de Voçorocamento, Noroeste de Minas Gerais". *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 7 (1), 09-18.
- Bertrand, Georges.** 2004: "Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico". *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*. 8, 141-152.
- Blanco, Humberto; Lal, Rattan.** 2008: *Principles of soil conservation and management*. Springer.
- Ceron, Antônio Olívio; Diniz, José Alexandre.** 1966: "O uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra" *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, 2 (28), 161-173.
- Corrêa, Edvania Aparecida; Moraes, Isabel Cristina; Lupinacci, Cenira Maria; Pinto, Sérgio dos Anjos Ferreira.** 2018: "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*. São Paulo, 19 (2), 231-243. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1303>
- Fendrich, Roberto.; Obladen, Nicolau Leopoldo; Aisse, Miguel Mansur; Garcias, Carlos Mello.** 1997. *Drenagem e controle da erosão urbana*. Curitiba, Champagnat.
- Figueroa, João Carlos.** 2012: "Vertentes históricas". Griese, Juliana, Mello, Murilo Gambato (Eds), *Atlas da Cuesta*. Botucatu: Instituto Itapoty,
- Filho, Gerson Salviano de Almeida; Filho, José Teixeira.** 2014: "A Importância da diferenciação dos processos erosivos lineares dos tipos ravina e boçoroca". *XII Simpósio de Recursos Hídricos Do Nordeste*. Natal, 1-15.
- Gallegos Reina, Antonio.** 2022: "Evolution of the territory and analysis of flooding and water erosion between 1956 and 2010: case study in the province of Malaga (Spain)". *Agua Y Territorio / Water and Landscape*, (21). <https://doi.org/10.17561/at.21.6368>
- Goudie, Andrew.** 2013. *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future*. Oxford, John Wiley & Sons
- Hubp, Jose Lugo.** 1988. *Elementos de Geomorfologia Aplicada (Metodos Cartograficos)*. México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** 2022: *IBGE Cidades*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/botucatu/panorama>
- Lal, Ratan.** 1983: "Soil erosion in the humid tropics with particular reference to agricultural land development and soil management". *Hydrology of humid tropical regions. Proc. Hamburg symposium*.
- Maximiano, Liz Abad.** 2004: "Considerações sobre o conceito de Paisagem". *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, 8, 83-91.
- Mello, Murilo Gambato.** 2012: "Populações indígenas". Griese, Juliana, Mello, Murilo Gambato (Eds), *Atlas da Cuesta*. Botucatu: Instituto Itapoty,
- Pascoto, Tamara Vieira; Furegatti, Simone; Peixoto, Anna Silvia Palcheco.** 2018: "Classificação das Erosões da Área Urbana de São Manuel – SP" *In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano – COBRAMSEG*
- Rossi, Marcio.** 2017: *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo, Instituto Florestal.
- São Paulo (Estado), Secretaria de Obras e do Meio Ambiente; Departamento de Águas e Energia Elétrica; Universidade Estadual Paulista.** 1984: *Folha Geológica de Bauru (SF-22-Z-B)*: Mapa Geológico do Estado de São Paulo Escala 1:250.000.

- Silva, Melina Melo; Lupinacci, Cenira Maria.** 2021: "Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa Vista-Corumbataí (SP): subsídios ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe". *Geografia*, 46, 1–24. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2021v30n1p421>
- Stefanuto, Estêvão Botura.** 2019: *Análise da Dinâmica Erosiva Linear e seu Potencial Evolutivo em Ambiente Agrícola*, Dissertação de Mestrado, São Paulo State University (UNESP), Rio Claro (Brasil).
- Vitte, Antônio Carlos.** 2007: "O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na Geografia Física". *Mercator*, 6 (11), 71 – 78.
- Zanatta, Felipe Augusto Scudeller.** 2018: *Limitação física em área rural degradada: busca metodológica para definir o uso adequado das terras*, tesis doctoral, São Paulo State University (UNESP), Rio Claro (Brasil).