

Análise Temporal e Evolutiva das Erosões Lineares Hídricas Urbanas em Encosta Localizada na Região de Nascente do Córrego da Grama

Temporal and Evolutionary Analysis of Urban Linear Water Erosion in a Hillslope Located in the Source Region of Córrego da Grama

Análisis Temporal y Evolutivo de la Erosión Hídrica Lineal Urbana en una Ladera Ubicada en la Región Fuente de Córrego da Grama

Ana Laura Pascucci de Oliveira

Aluna do curso de Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
ana.pascucci@unesp.br

Matheus Ribas Francisco

Aluno do curso de Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
matheus.ribas@unesp.br

Simone Andrea Furegatti

Professora Doutora, Unesp, Brasil.
simone.furegatti@unesp.br

RESUMO

Os processos erosivos urbanos são ocasionados por uma combinação de fatores naturais, como o relevo, tipo e manejo dos solos, e podem se agravar mediante à ação humana ao longo do tempo. O objetivo do trabalho aqui apresentado foi realizar um estudo de caso das erosões hídricas em uma encosta localizada na região de nascente do Córrego da Grama, em região periférica do município de Bauru/SP, para analisar a evolução temporal e os principais fatores de influência no surgimento das feições visíveis em imagens de satélite, por meio de sistematização das características de cada erosão. A organização das informações permitiu melhor entendimento dos processos, suas origens e os motivos que colaboram para sua persistência, correlacionando-as com o ambiente e formando um panorama geral dos eventos que acontecem na encosta.

ABSTRACT

Urban erosion processes are caused by a combination of natural factors, such as relief, soil type and management, among others, and can be aggravated by human action over time. The objective of the work presented here was to carry out a case study of water erosion on a hillslope located in the source region of Córrego da Grama, in the Bauru/SP peripheral region, to analyze the temporal evolution and the main factors of influence on the emergence of visible features in satellite images, through systematization of the characteristics of each erosion. The organization of the information allowed a better understanding of the processes, their origins and the reasons that contribute to their persistence, correlating them with the environment and forming an overview of the events that happen on the hillslope.

RESUMEN

Los procesos de erosión urbana son causados por una combinación de factores naturales, como el relieve, el tipo de suelo y su manejo, entre otros, y pueden verse agravados por la acción humana a lo largo del tiempo. El trabajo aquí presentado tuvo como objetivo realizar un estudio de caso de erosión hídrica en un talud ubicado en la región fuente de Córrego da Grama, en la región periférica del municipio de Bauru/SP, para analizar la evolución temporal y los principales factores de influencia en la aparición de rasgos visibles en imágenes satelitales, a través de la sistematización de las características de cada erosión. La organización de la información permitió una mejor comprensión de los procesos, sus orígenes y las razones que contribuyen a su persistencia, correlacionándolos con el medio y formando un panorama de los eventos que suceden en el talud.

1. INTRODUÇÃO

Com o início do êxodo rural no Brasil, a partir da segunda metade do século XX, relacionado à demanda de mão de obra e a busca por uma melhor qualidade de vida, ocorreu o crescimento populacional das cidades e a consequente expansão urbana. A ocupação das cidades de forma intensa e inadequada, culminou em problemas de infraestrutura que perduram até a atualidade. A inexistência de Plano Diretor para garantir uma distribuição equilibrada dos riscos e benefícios da urbanização e a demanda por áreas de expansão resultou em usos inadequados do solo, zonas extremamente povoadas e falta de infraestrutura (BRITO, 2005). O uso e ocupação inadequado dos solos urbanos, dá origem a grandes áreas impermeabilizadas devido à retirada de vegetação e revestimento com materiais asfálticos e o concreto. A impermeabilização por sua vez reduz a infiltração das águas pluviais no solo, contribuindo com o aumento e concentração do escoamento superficial, que por vezes não é suportado pela rede de drenagem (TUCCI, 2006). Em áreas suscetíveis à instabilidade, criam graves problemas ambientais, que oneram o poder público e a sociedade. A intensidade e acúmulo do escoamento superficial pode ocasionar a degradação do solo, erosões, assoreamento, alagamentos, destruição da infraestrutura urbana e danos aos ecossistemas (MENEZES, 2010).

A erosão trata-se de um fenômeno de desagregação da superfície, transporte e disposição dos sedimentos do solo, do subsolo e das rochas, causadas pelos agentes erosivos (AYRES, 1936). As erosões desencadeadas pelo escoamento superficial das chuvas tem como agente a água, e se classificam como erosão hídrica pluvial. As feições originadas pela ação de águas pluviais podem ser laminares ou lineares, ambas decorrem da atuação do escoamento superficial da chuva, além de outros fatores (OLIVEIRA e MONTICELI, 2018). Erosões são causadas por um conjunto de fatores como: o perfil de terreno (sua declividade e comprimento de rampa), a capacidade do solo de absorver água, as características da chuva, a resistência do solo à ação erosiva, a densidade do solo e a cobertura vegetal presente (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999). Outro fator condicionante se refere ao comportamento da água subterrânea, incluindo o nível do lençol freático e a infiltração de água no solo (RODRIGUES, 1982; SALOMÃO, 1994).

As erosões apresentam diferentes formas de classificação de acordo com o agente erosivo, o tipo de feição e referente ao local onde se desenvolvem. Dentre as classificações de acordo com o agente erosivo, destaca-se a erosão hídrica pluvial, responsável desde o impacto da gota de chuva que desagrega e transporta as partículas do solo por salpicamento, até imprimir energia, na forma de turbulência, ao escoamento da água que sobra na superfície, também podendo desagregar e transportar partículas de solo. As erosões laminares são ocasionadas pelo escoamento difuso das águas, dessa forma, a perda de solo se dá progressivamente em camadas relativamente uniformes do solo superficial, o que dificulta a percepção desse fenômeno em alguns casos (OLIVEIRA e MONTICELI, 2018). A erosão linear, por outro lado, resulta principalmente da concentração do escoamento superficial e propicia o desenvolvimento de erosões categorizadas como sulcos, ravinas e boçorocas. Os sulcos são feições alongadas e de menor incisão na superfície, já as ravinas apresentam maior porte e atingem os horizontes inferiores do solo, sem atingir o lençol de água subterrânea. As boçorocas são produtos da ação conjunta dos escoamentos superficiais e em subsuperfície,

originando em quadros evolutivos mais complexos processos e fenômenos como o *piping*, deslizamentos, corridas de lama, liquefação de areias, entre outros (AYRES, 1936). Quanto ao local de ocorrência, as erosões podem ser classificadas como urbanas ou rurais, associadas às diferentes formas de uso e ocupação do solo nas duas situações (ALMEIDA FILHO, 2004). Em áreas urbanas, a erosão evolui, principalmente, no perímetro de expansão das cidades, graças à abertura de novos loteamentos e na ampliação das áreas pavimentadas o que aumenta consideravelmente o volume e a velocidade do fluxo superficial e, desde que não dissipado, o escoamento se concentra, podendo acelerar os processos erosivos lineares (SALOMÃO, 2007).

Na região de Bauru, Salomão (1994) destaca a ocorrência do fenômeno de boçorocamento, iniciado pela concentração do escoamento superficial, que surge em superfície através do ravinamento e pode atingir o lençol freático. Devido às características da região, agravadas pelo desenvolvimento urbano, com surgimento de loteamentos feitos de maneira equivocada, falta de ações preventivas e de infraestrutura, a cidade é frequentemente acometida por fenômenos erosivos de médias e grandes proporções, como ravinas e boçorocas (CORGHI, 2008). Assim, com base no histórico de ocorrência de fenômenos erosivos e densa ocupação urbana, definiu-se para estudo a região do núcleo habitacional Edson Francisco da Silva - Cohab 16, em Bauru (Figura 1), por se tratar de uma região periférica de expansão urbana com vias pavimentadas e apresentar erosões urbanas potencialmente originadas por acúmulo de escoamento superficial. Na região estudada foi realizado o cadastramento da erosão principal pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), no ano de 2002, no qual são descritas as características da erosão, sua dinâmica, evolução, entre outros. Ainda, Souza *et al.* (2022) apontam e descrevem as feições adjacentes à principal e realizam o cálculo do escoamento superficial na região.

O objetivo do trabalho aqui apresentado foi realizar uma análise temporal e evolutiva das erosões lineares hídricas na encosta que se encontra o Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva, no município de Bauru/SP, por meio de sistematização para identificar as características e os principais fatores de influência no surgimento de feições na encosta.

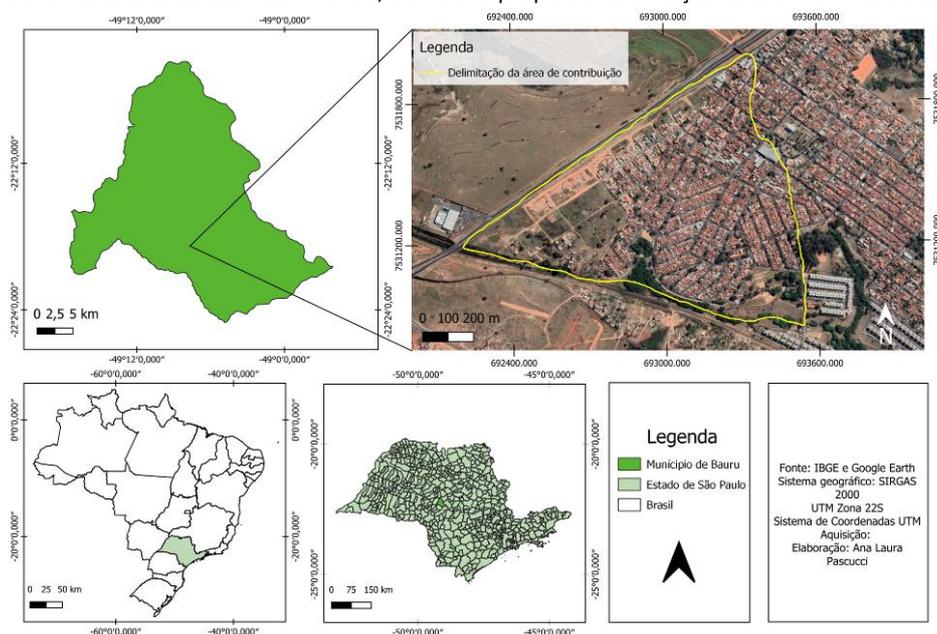
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Bauru, localizado na porção Centro-Oeste do Estado de São Paulo, no Planalto Ocidental Paulista, composto de derrames basálticos que se sobrepõem às unidades sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná e às coberturas sedimentares que, por sua vez, foram depositadas na Bacia Bauru, acima dos basaltos (ALMEIDA, 1964). O solo de Bauru é predominantemente arenoso e pouco argiloso, classificado em sua maioria como Latossolo Vermelho Escuro, textura média e em Podzólico Vermelho Amarelo, de textura arenosa/média (ALMEIDA FILHO, 2000). Por se tratarem de depósitos sedimentares modernos, a ocorrência de boçorocas nesses sedimentos se dá por conta da baixa compactação e cimentação do solo. Além disso, a baixa coesão das partículas de areias, resulta em uma estrutura porosa e com alta colapsibilidade (RODRIGUES, 1982; CORGHI, *et al.*, 2006; MOTA E FUREGATTI, 2021). O relevo regional é acentuado, apresenta formas de escarpas, morrotes alongados, morrotes isolados e de colinas amplas e suaves, que são intensificadoras dos processos erosivos, por apresentarem rampas longas e inclinadas. As formas de terreno presentes na região costumam apresentar cursos d'água formadores das cabeceiras de drenagem e canais preferenciais, os

quais indicam possíveis rotas do escoamento superficial (ALMEIDA FILHO, 2000). Salomão (1994) relata que a provável origem das feições erosivas profundas em cabeceiras de drenagem na região de Bauru deve-se às alterações hidrológicas que provocaram acúmulo de escoamento superficial, causando alargamento das calhas dos rios e deixando expostas surgências d'água ao longo dos fundos de vale, em barrancos e mesmo na encosta.

A área estudada está localizada entre as coordenadas UTM de longitude: 693423.71 E e 692911.79 E; e, entre as coordenadas de latitude 7530913.08 S e 7531789.50 S (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo no Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva no município de Bauru no interior do Estado de São Paulo – Brasil, com destaque para a delimitação da encosta considerada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A área de estudo apresenta densa urbanização, com ruas asfaltadas, rede de drenagem implantada e com relevo composto por colinas amplas, que se caracteriza por apresentar topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, drenagem de baixa densidade, ou seja, que permite rápida infiltração, com presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes (SHS, 2008). É possível observar uma predisposição aos processos erosivos na região tendo em vista que em anos anteriores à ocupação urbana já se apresentavam algumas feições lineares, como fica evidente na foto aérea de 1972 na escala 1:25000 do IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (Figura 2).

Figura 2 – Fotografia aérea da parcela sudeste da área de contribuição.



Fonte: IGC (1972).

Ao longo do período considerado, segundo análise de imagens e relatos de moradores da região, se observa a ocorrência e reincidência de feições erosivas especialmente na margem esquerda da boçoroca, onde se localiza o conjunto habitacional. A encosta da margem direita se manteve sem ocupação até o presente momento, quando é possível se observar movimentação de terra, indicando o loteamento da área. As consequências dos processos em desenvolvimento, portanto, são mais perceptíveis na encosta da margem esquerda, compondo, assim, a área a ser estudada. Dessa forma, o interesse por estudo se voltou para a encosta à margem esquerda do Córrego da Grama, na região de nascente do córrego, que é afluente do Rio Bauru (Figura 1 e Figura 3).

3. ESTUDO E SISTEMATIZAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS EROSÕES

Como os processos erosivos encontram-se concentrados em algumas localidades, a área de contribuição foi subdividida em 4 áreas denominadas Área 1, Área 2, Área 3 e Área 4 (Figura 3), com o intuito de organizar a caracterização e a evolução das erosões analisadas.

Figura 3 – Subdivisão das áreas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Existem diversas classificações para os fenômenos erosivos com relação à forma, localização na encosta, tamanho, relação com a drenagem, entre outras características que podem ser avaliadas. No presente trabalho, elaborou-se uma ficha de classificação qualitativa das feições erosivas (Quadro 1) na área de estudo, conforme a literatura selecionada.

Quadro 1 – Modelo da ficha de sistematização.

Posição Vertente	Média		Alta		Baixa	
Comprimento	Grande		Média		Pequena	
Largura	Grande		Média		Pequena	
Linha de inclinação	Transversal		Longitudinal			
Formas simples	Ovoide Lisa		Ovoide lobulada		Ovoide coalescente	
	Periforme lisa		Ortogonal		Linear	
	Outras					
Estágio Evolutivo	Estabilizada		Em desenvolvimento			
Sistema de incisão	Conectada		Desconectada		Integrada	
Possível origem/Fatores de influência						

Fonte: Elaborado pelos autores.

As dimensões das feições erosivas foram obtidas a partir das visitas de campo e das imagens históricas e, assim, classificadas entre pequena, média ou grande, conforme estabelecido por Furlani (1980) (Quadro 2).

Quadro 2 – Dimensões da boçoroca.

Medidas	Grande	Média	Pequena
Comprimento	≥ 500m	≤ 500m	100m
Largura	≥ 50m	≤ 50m	10m

Fonte: Modificado de Furlani, 1980.

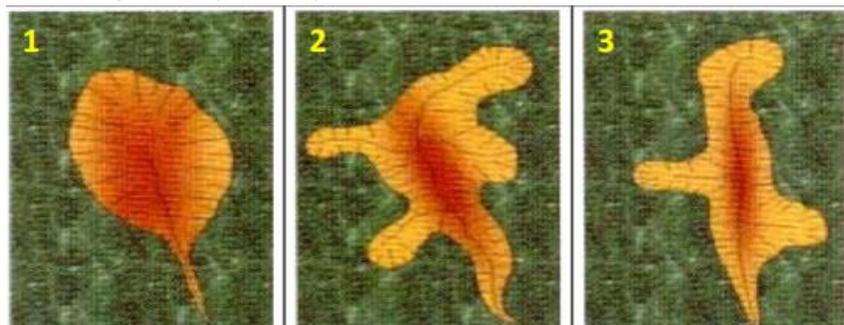
Outra classificação adotada foi em relação à posição da feição na vertente, considerada baixa, média ou alta, conforme a cota de elevação em que cada feição se encontra. Além disso, as feições foram classificadas em relação às linhas de maior inclinação, sendo transversal (contrária a linha de maior declive) e longitudinal (ajustada à linha de maior declive) (FURLANI, 1980). Quanto à forma, as feições também foram classificadas conforme terminologia de Furlani (1980), podendo ser: a) ovóide ou periforme lisa; b) ovóide lobulada; c) ovóide coalescente; d) linear; e) ortogonal; f) curvilínea (Quadro 3 e Figura 4).

Quadro 3 – Formas das feições erosivas.

Formas	Descrição
Ovóide ou periforme lisa	Associada a um único eixo hidrográfico, trata-se da forma clássica sem festonamento dos bordos. Funciona como uma bacia de recepção e um canal de escoamento.
Ovóide lobulada	Nos bordos abrem-se diversos recortes que evoluem de forma oblíqua ou perpendicular ao canal.
Ovóide coalescente	Junção de dois ou mais aparelhos erosivos festonados ou lisos.
Linear	O corpo de aparelho alonga-se de tal maneira que assume uma configuração retilínea.
Ortogonal	Dois ramos retilíneos interceptam-se normalmente.
Curvilínea	Exibe o corredor erosivo encurvado.
Composta	Combinação ou evolução das demais formas e de outras formas variadas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 – Tipos de boçoroca: (1) ovóide, (2) coalescente e (3) linear.



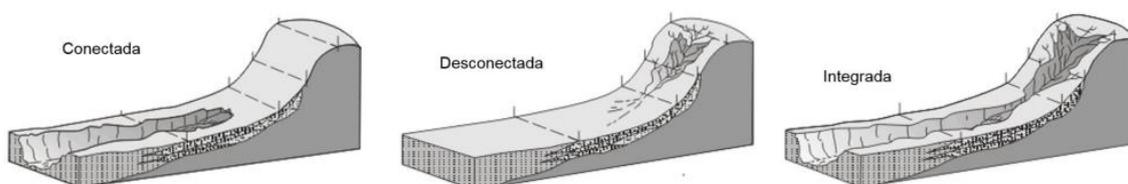
Fonte: CEMIG (2001).

Quanto à análise do processo erosivo, ao decorrer do tempo foi observado se a feição erosiva está estável ou se continua em desenvolvimento devido ao aumento das incisões. Características como o aparecimento de vegetação dentro das feições são indicativos de estabilidade, enquanto a presença de tubulações rompidas intensifica a continuidade de desenvolvimento da feição (MERCALDI E FUREGATTI, 2020).

Ainda, em alguns casos foram verificados alguns fatores de influência no aparecimento e desenvolvimento das feições, como arruamentos não pavimentados, caminhos, tubulações e técnicas como a construção de curvas de nível para quebra de energia do escoamento superficial (CHEROBIN, 2012).

Finalmente, o sistema de incisão nas vertentes, definido por Oliveira e Meis (1985), foi empregado para classificar as erosões como conectadas, desconectadas e integradas à rede hidrográfica (Figura 5). No caso das erosões conectadas, o processo inicia-se nas partes mais baixas do relevo e sobem, com predomínio de fluxos subsuperficiais, podendo também ser consideradas canais de primeira ordem. Enquanto nas erosões desconectadas, a incisão se encontra nos setores mais altos da encosta e se desenvolve rumo às rampas de colúvio mais abaixo, com predominância de fluxo superficial e sem ligação com a rede de drenagem, portanto não são consideradas como canais de primeira ordem. As feições integradas tratam-se de uma junção das formas citadas anteriormente, formando uma única incisão e ocorrem com a evolução do processo erosivo. Assim, em certos casos é possível se verificar a tendência de evolução de duas feições a se juntarem, por meio da análise do comportamento do fluxo concentrado, pelo formato e orientação das feições, localizadas em uma mesma encosta.

Figura 5 – Modelo de Evolução dos tipos de boçoroca



Fonte: Adaptado de Oliveira (1989).

4. LEVANTAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DAS EROSÕES

A delimitação da encosta, bem como a identificação e o histórico evolutivo temporal das feições nela presentes, em diferentes anos, foram determinadas com base na observação de imagens de satélite do Google Earth e por meio de visitas técnicas ao local. Os dados numéricos para análise dimensional foram obtidos por meio das ferramentas do Google Earth.

Com o levantamento feito por meio das imagens de satélite, foram identificadas 4 feições na Área 1 (ver Figura 3), no período de 2004 a 2010. Na parcela localizada à oeste da Área 1, existe uma rede de drenagem de águas pluviais e tubulação proveniente da rodovia SP-294 (Figura 6 e Figura 7), localizada na cabeceira da Feição 1 (Figura 8a) observada por imagens de satélite do Google Earth no ano de 2004.

A Feição 1 está localizada na posição alta da vertente, se encontra transversalmente à linha de maior inclinação do terreno e desconectada da drenagem, apresentando forma linear, médio comprimento e pequena largura. A possível origem da feição e principal fator de influência é a tubulação de águas pluviais, existente na rodovia (Quadro 2). Segundo Salomão (1994), erosões nas porções atravessadas por rodovias e grandes avenidas são muito comuns nas sub-bacias que compõem a Bacia do Rio Bauru, como a sub-bacia do Córrego da Grama. A erosão foi aterrada entre os anos de 2004 e 2010, por essa razão foi classificada como estabilizada (Figura 8b). Atualmente na região da feição recuperada existem algumas moradias e vias não pavimentadas.

Figura 6 – Localização de tubulação de drenagem próxima a rodovia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7 – Tubulação de drenagem com acúmulo de sedimentos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8 – Feição 1, localizada na Área 1: a) Situação em 2004; e, b) Situação em 2010 (recuperada).

(a)



Fonte: Google Earth.

(b)



Fonte: Google Earth.

Quadro 4 – Ficha de sistematização da Feição 1.

Posição Vertente	Média		Alta	X	Baixa	
Comprimento	Grande		Média	X	Pequena	
Largura	Grande		Média		Pequena	X
Linha de inclinação	Transversal		X	Longitudinal		
Formas simples	Ovóide Lisa		Ovóide lobulada		Ovóide coalescente	
	Periforme lisa		Ortogonal		Linear	X
	Outras					
Estágio Evolutivo	Estabilizada		X	Em desenvolvimento		
Sistema de incisão	Conectada		Desconectada	X	Integrada	
Possível origem/Fatores de influência	Tubulação de drenagem de águas pluviais e tubulação da rodovia					

Fonte: Elaborada pelos autores.

As Feições 2, 3 e 4 (Figura 9a), ainda dentro da Área 1, têm características semelhantes, apresentando comprimento e largura pequenos, formato ovóide lobulada, devido aos recortes nos bordos. As incisões se localizam próximas ao córrego, ou seja, posição baixa da vertente, com inclinação transversal à linha de maior inclinação, porém se encontram desconectadas da drenagem (Quadro 5). A origem das feições pode ser associada à concentração do escoamento superficial no local e a uma possível escavação localizada. Entre os anos de 2010 e 2015 foram possivelmente aterradas (Figura 9b), dessa forma, foram classificadas como estabilizadas.

Figura 9 – Feições 2,3 e 4, localizadas na Área 1: a) Situação em 2010; e, b) Situação em 2015 (recuperadas).



Fonte: Google Earth.

Fonte: Google Earth.

Quadro 5 – Ficha de sistematização das Feições 2,3 e 4

Posição Vertente	Média		Alta		Baixa	X
Comprimento	Grande		Média		Pequena	X
Largura	Grande		Média		Pequena	X
Linha de inclinação	Transversal		X	Longitudinal		
Formas simples	Ovóide Lisa		Ovóide lobulada	X	Ovóide coalescente	
	Periforme lisa		Ortogonal		Linear	
	Outras					
Estágio Evolutivo	Estabilizada		X	Em desenvolvimento		
Sistema de incisão	Conectada		Desconectada	X	Integrada	
Possível origem/Fatores de influência	Concentração de escoamento superficial devido ao formato da vertente e possível escavação					

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Área 2 foi definida como a porção localizada a sudeste da encosta (ver Figura 3), onde, ao longo do tempo, foram construídas curvas de nível para atuar como dispositivo de quebra de energia do escoamento (Figura 10). Ao longo das curvas construídas, porém, é possível observar a formação de sulcos, possivelmente originados pelo deslocamento do gado, que gera caminhos, ou por galgamento da água sobre as curvas.

Figura 10 – Curvas de nível construídas para retenção de águas pluviais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As feições 5 e 6, que fazem parte da Área 2, também possuem características semelhantes, aparecem nas imagens a partir de 2015 e se localizam nas curvas de nível construídas entre 2013 e 2015 (Figura 11). Ambas as feições se encontram à média vertente, desconectadas da drenagem e ocorrem transversalmente às linhas de maior inclinação. As incisões apresentam forma linear, com comprimento e largura das feições classificados como pequenos (Quadro 6). Uma possível origem do processo erosivo no local se trata do galgamento das curvas de nível e da passagem de gado. Entre os anos de 2020 e 2021, as curvas foram corrigidas e as feições não se encontram no local atualmente, por isso foram classificadas como estabilizadas (Figura 11d).

Figura 11 – Feições 5 e 6, localizadas na Área 2: a) Situação em 2015 (Feição 5); b) Situação em 2016 (surgimento da Feição 6), c) Situação em 2018 (redução da Feição 5); e, d) Situação em 2021 (recuperadas).



Fonte: Google Earth.

Fonte: Google Earth.



Fonte: Google Earth.



Fonte: Google Earth.

Quadro 6 – Ficha de sistematização das Feições 5 e 6.

Posição Vertente	Média	X	Alta		Baixa	
Comprimento	Grande		Média		Pequena	X
Largura	Grande		Média		Pequena	X
Linha de inclinação	Transversal		X	Longitudinal		
Formas simples	Ovóide Lisa		Ovóide lobulada		Ovóide coalescente	
	Periforme lisa		Ortogonal		Linear	X
	Outras					
Estágio Evolutivo	Estabilizada		X	Em desenvolvimento		
Sistema de incisão	Conectada		Desconectada	X	Integrada	X
Possível origem/Fatores de influência	Galgamento das curvas de nível e trilhas de deslocamento de gado					

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Área 3 se identificou uma boçoroca, na direção abaixo das curvas de nível construídas, se aproximando do canal de drenagem (Figura 12 e Figura 13), ocasionada por concentração de fluxo da água de chuva. Na erosão em questão, notou-se a existência de uma tubulação de esgoto atravessando a feição, mas não foi identificada a presença de tubulação de águas pluviais possivelmente relacionadas com a feição.

Figura 12 – Vista ampla da boçoroca.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 13 – Boçoroca próxima ao canal de drenagem, com tubulação da rede de esgoto demarcada e curvas de nível ao fundo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ainda na Área 3, na região mais à jusante do Córrego da Grama, há a ocorrência de erosões de margem no canal de drenagem (Figura 14 e Figura 15). A erosão de margem é um fator de influência do movimento de massa em ambientes fluviais que remove as paredes das margens ocasionando a instabilidade dos barrancos (Magalhães, 2011). No presente artigo,

porém, foram sistematizadas somente as erosões hídricas pluviais lineares, sendo essas feições apresentadas somente a título ilustrativo dos processos erosivos na região da área estudada.

Figura 14 – Erosão de margem no canal de drenagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 15 – Erosão de margem no canal de drenagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Área 3, se observa as feições 7 e 8, que apresentam comprimento e largura pequenos, formato linear e ocorrem à baixa vertente. A feição 7 foi identificada a partir de 2010 (Figura 16a) e tem como possível origem a concentração do escoamento na região, se localiza longitudinalmente à linha de maior inclinação e se conecta ao canal de drenagem (Quadro 7). Após a construção das curvas de nível se inicia o processo erosivo da feição 8, em 2015 (Figura 16b), na qual ocorre a união das incisões 7 e 8 (Figura 16c), por meio do crescimento em direção à baixa vertente da feição 8, que chegou aos 40 metros de comprimento. A feição 8 apresenta o trecho de cabeceira posicionado transversalmente à linha de maior inclinação (Quadro 8). Atualmente, a feição 8 foi recuperada, enquanto a feição 7 foi reduzida, mas permanece conectada ao canal (Figura 16d).

Nas visitas de campo foram identificadas algumas feições localizadas na Área 4, impossíveis de se observar nas imagens de satélite, devido às suas dimensões e presença da vegetação no local. As feições constantes da Área 4 foram levantadas e analisadas por Souza *et al.* (2022), que reforçaram a tendência das feições se unirem ao canal de drenagem, prevista no relatório do IPT (2002).

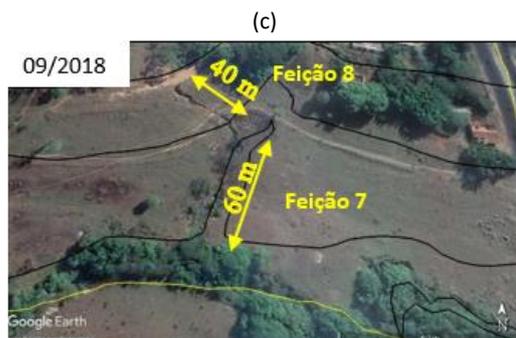
Figura 16 – Feições 7 e 8, localizadas na Área 3: a) Situação em 2010; b) Situação em 2015 (surgimento da feição 8); c) Situação em 2018 (união das feições); e, d) Situação em 2022 (recuperação da feição 8).



Fonte: Google Earth.



Fonte: Google Earth.



Fonte: Google Earth.



Fonte: Google Earth.

Quadro 7 – Ficha de sistematização da Feição 7.

Posição Vertente	Média		Alta		Baixa	X
Comprimento	Grande		Média		Pequena	X
Largura	Grande		Média		Pequena	X
Linha de inclinação	Transversal		Longitudinal			X
Formas simples	Ovóide Lisa		Ovóide lobulada		Ovóide coalescente	
	Periforme lisa		Ortogonal		Linear	X
	Outras					
Estágio Evolutivo	Estabilizada			Em desenvolvimento		X
Sistema de incisão	Conectada	X	Desconectada		Integrada	
Possível origem/Fatores de influência	Concentração de escoamento superficial devido ao formato da vertente					

Fonte: Elaborada pelos autores.

Quadro 8 – Ficha de sistematização da Feição 8.

Posição Vertente	Média		Alta		Baixa	X
Comprimento	Grande		Média		Pequena	X
Largura	Grande		Média		Pequena	X
Linha de inclinação	Transversal		X	Longitudinal		
Formas simples	Ovóide Lisa		Ovóide lobulada		Ovóide coalescente	
	Periforme lisa		Ortogonal		Linear	X
	Outras					
Estágio Evolutivo	Estabilizada		X	Em desenvolvimento		
Sistema de incisão	Conectada		Desconectada		Integrada	X
Possível origem/Fatores de influência	Construção de curvas de nível que concentraram o fluxo na região					

Fonte: Elaborada pelos autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de contribuição estudada é altamente suscetível aos processos erosivos, tendo em vista que os primeiros registros de 1972 relatam erosões nas encostas de contribuição do Córrego da Grama. As erosões se originam devido à forma convexa das vertentes, tal forma intensifica a compactação e a velocidade pluvial, que, por consequência, aumenta o escoamento superficial da área (CASSETI, 2005). Além de se tratar de uma região de cabeceira da bacia que, segundo Bigarella (2003), são áreas suscetíveis à erosão, principalmente nas maiores declividades. A soma desses fatores geomorfológicos com o tipo de solo arenoso colapsível encontrado em Bauru resulta em processos erosivos cada vez mais evoluídos.

Outro fator de destaque é a urbanização, a qual inclui a pavimentação de ruas, os loteamentos e os mecanismos de drenagem rodoviários. Com o uso de materiais como asfalto e concreto, aumenta-se a área impermeabilizada, que contribui para a concentração do fluxo

no sentido dos arruamentos. Ademais, a demarcação de ruas transversalmente à inclinação do terreno forma linhas de rupturas de declive, as quais contribuem para maior concentração das águas pluviais. Tendo em vista que existem áreas na encosta que ainda estão em processo de ocupação, a expansão deve continuar propiciando o processo erosivo mais intenso. Nas visitas de campo, foram registrados fatores que contribuem para o surgimento e evolução das incisões erosivas, juntamente com os levantamentos feitos com o Google Earth, sendo possível evidenciar a atuação e caminhos que percorrem as águas superficiais e subsuperficiais.

É importante salientar que na encosta estudada houveram intervenções nas erosões para solucionar de forma paliativa, como aterramento das feições e construção de curvas de níveis na Área 2. A ação de construção das curvas de níveis, porém, se mostrou insuficiente, pois as curvas foram transpostas pela ação da água, o que gerou o surgimento de feições mais abaixo.

Nesse sentido, o estudo feito na área possibilitou uma sistematização das feições erosivas de modo que se tenha um mecanismo para o auxílio na identificação e compreensão dos padrões e causas dos processos ocorrentes ao longo dos anos. A partir da análise feita, será possível desenvolver um estudo geomorfológico para entendimento das linhas de concentração de fluxo, buscando se prever futuros surgimentos de incisões. E, por meio dessa previsão e do levantamento aqui exposto, possa se formular medidas para prevenir e remediar as erosões.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, G. S. de. **Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- ALMEIDA FILHO, G. S. de. **Noções básicas para controle e prevenção de erosão em área urbana e rural**. São Paulo: ABRH; 2004.
- ALMEIDA, F. F. M. de. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Boletim de Geologia do Estado de São Paulo - IGC, n. 41, p. 169-263, 1964.
- AYRES, Q. C. **Soil Erosion and its Control**. McGraw-Hill, New York. 378 p. 1936.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo, Cone editora. 1999.
- BIGARELLA, J. J. (2003) **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis (SC): Ed. da UFSC, v. 3, p. 877-1436.
- BRITO, F.; SOUZA, J. **Expansão urbana nas grandes metrópoles: O significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza**. São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 4, p. 48-63, out./dez. 2005.
- CAMPOS, E. H.; ALVES, R. R.; SERATO, D. S.; RODRIGUES, S. C. **A ocorrência de feições erosivas como evidência da evolução de voçoroca em Uberlândia-MG**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.1, n. 2, p. 64-77, 2008.
- CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005].
- CHEROBIN, S.F. **Estimativa de erosão e sua relação com os diferentes mecanismos erosivos atuantes: estudo da voçoroca Vila Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFOP, Ouro Preto/MG, 2012.
- CORGHI, F. N.; VITTE, A. C.; GIACHETI, H. L. **Processos erosivos na área urbana de Bauru – SP**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia, set., 2006.
- DIRANE, A.C.M.; VIEIRA, A.F.S.G. **Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca na rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara**. Manaus. 10^o SINAGEO. Manaus, AM.2014.

Periódico Técnico e Científico

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 10, número 27, 2022

FURLANI, G. M. (1980). **Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca**. São Paulo. 379 p. Dissertação (Mestrado em geografia física) - Departamento de Geografia, FFLCH, USP, São Paulo.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-JACARÉ. **Erosões urbanas de Bauru**. 2002.

MAGALHÃES, R.C. *et al.* **Análise geográfica sobre erosão de margens e movimentos de massa na comunidade do Divino E. Santo – AM (Brasil)**. 2011. Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011 - Costa Rica II Semestre 2011 pp. 1-17.

MENEZES, M. B. M. **Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudos de Erodibilidade**. São Carlos, 116p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2010.

MERCALDI, M. B.; FUREGATTI, S. A. **Proposta de sistematização de levantamento de fatores condicionantes e identificação de feições erosivas**. 10ª Reunião de Estudos Ambientais. Porto Alegre, RS, 2020.

MOTA, V.G.; FUREGATTI, S. A. **Levantamento e análise da ocorrência de feições erosivas urbanas na cidade de bauru/sp, no período de 2018**. 9º Congresso lusobrasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável (PLURIS 2020). Águas de Lindóia, SP. 2021.

OLIVEIRA, Marcelo A. T. de & MEIS, Maria R.M. **Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP)**. In: Geociências. nº 4. São Paulo. p.87-99, 1985.

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; MONTICELI, João Jerônimo. **Geologia de engenharia e ambiental**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2018.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas**. 1982. 162f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos, 1982.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SALOMÃO, F. X. de T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. 1994. 200f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - USP, São Paulo, 1994.

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: Guerra *et al.* Erosão e conservação dos solos; conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil. Cap. 7, 2007.

SHS – CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA S/S LTDA. **Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru - SP**. Relatório final. 2008.

SOUZA, D.L.M; ROMERO, L.M.; FUREGATTI, S.A. **Análise de fatores que influenciam a ocorrência de ramificações erosivas à margem esquerda de uma boçoroca urbana em Bauru/SP: caso COHAB-16**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, n.4, p 26519-26535, apr., 2022.

TUCCI, C. E. M. **Programa de drenagem sustentável: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas – Versão 2.0**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005a. Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil. REGA, v.2, n.2, dez. 2005b.