

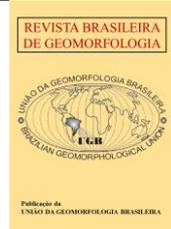


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

# Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, n° 3 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2266>



Artigo de pesquisa

## A complexa relação entre precipitação, uso e cobertura da terra, solos e evolução de taludes erosivos de voçorocas

*The complex relationship between precipitation, land use, soils and evolution of erosive sidewall*

Estêvão Botura Stefanuto<sup>1</sup>, Cenira Maria Lupinacci<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA), Rio Claro, Brasil. [estevao.stefanuto@unesp.br](mailto:estevao.stefanuto@unesp.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6580-2563>
- <sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA), Rio Claro, Brasil. [cenira.lupinacci@unesp.br](mailto:cenira.lupinacci@unesp.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4732-1421>

Recebido: 20/07/2022; Aceito: 22/02/2023; Publicado: 07/09/2023

**Resumo:** Nos últimos 30 anos, a intensidade dos eventos hidrológicos mundiais apresentou significativo aumento, fato que despertou a atenção da *Food and Agriculture Organization - FAO* para algumas áreas do globo, como as pastagens em áreas tropicais e subtropicais. Desta forma, objetiva-se com este artigo analisar a dinâmica evolutiva do talude erosivo de uma voçoroca e sua relação com o uso e cobertura da terra, os totais pluviométricos no decorrer das estações secas e úmidas e o comportamento dos solos. Para tal, selecionou-se uma voçoroca alocada em um setor submetido a pastagens desde 1962, localizado no município de Analândia (SP). Assim, foram monitorados os dados de chuva e a evolução do talude erosivo da voçoroca durante 21 meses. Com isso, identificou-se uma dinâmica evolutiva do talude classificada como complexa, uma vez que alguns períodos de maior evolução apresentaram correspondência com os dados pluviométricos, no entanto, em outros, a evolução se relacionou de forma expressiva com o comportamento dos solos e da cobertura arbustiva/arbórea sobre o talude.

**Palavras-chave:** Sistemas Complexos; Erosão; Chuva; Cobertura Vegetal.

**Abstract:** In the last 30 years, the intensity of global hydrological events has increased significantly, a fact that aroused the attention of the *Food and Agriculture Organization - FAO* to some areas of the world, such as pastures in tropical and subtropical areas. Thus, the aim of this paper is analyze the evolutionary dynamics of the gully sidewall and this relationship with land use, rainfall totals during the dry and wet seasons and soil. For this, was selected a gully erosion located in a sector with pastures since 1962, located in the Analândia city (SP). Thus, data on rainfall and evolution of the gully sidewall were monitored for 21 months. With this, a complex evolutionary dynamics of the sidewall was identified, become some periods of large evolution showed correspondence with the pluviometric data, but in other periods, the evolution was significantly for the behavior of soils and the shrub/arboreous cover on the sidewall.

**Keywords:** Complex Systems; Erosion; Rain; Vegetal cover.

### 1. Introdução

Dados mundiais dos eventos hidrológicos evidenciam que a severidade e a magnitude destes apresentaram aumento de aproximadamente 350% nos últimos 30 anos (EASAC, 2018a), fato que desperta a atenção para o

impacto de eventos chuvosos extremos na degradação dos solos (EASAC, 2018b). Assim, de acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2015, p.101), a taxa de erosão dos solos do globo pela água das chuvas apresenta-se entre 20 e 30 Gt ano<sup>-1</sup>, cabendo atenção para a dinâmica de escoamento superficial em setores agrícolas localizados em áreas tropicais ou subtropicais e com vertentes íngremes, locais os quais podem apresentar taxas de erosão máxima de até 50 a 100 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Neste sentido, Shen et al. (2016) ratificam algumas das informações apresentadas, uma vez que constata, através da aplicação de chuvas simuladas, uma correlação positiva entre intensidade pluviométrica e perda de material por escoamento laminar. Assim, de acordo com os autores, em terrenos com 15° de inclinação, submetidos a uma intensidade de chuva de 50 mm h<sup>-1</sup>, a perda de material é de 13,2 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, sendo que em 100 mm de intensidade as perdas apresentam aumento real, chegando a 31,6 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

Chu et al. (2019), em análise da interferência do uso da terra na dinâmica erosiva das chuvas em áreas de cultivo florestal, constata que, a partir da implementação de espécies arbóreas de folhas larga em setores de silvicultura, ocorre uma redução no carreamento de material em superfície de até 55%. Desta forma, em relação à intensidade pluviométrica e o uso da terra, Panachuki et al. (2006), em estudo aplicado às pastagens, também subsidia a correlação entre intensidade pluviométrica e perda de material por erosão. Os autores, a partir de chuvas simuladas e aplicadas por 30 minutos em parcelas de pastagem em campo, identificaram que, em uma intensidade de 40 mm h<sup>-1</sup>, a perda de material é de 1,2 g m<sup>2</sup>, sendo que em 60 mm h<sup>-1</sup> a perda aumenta para 1,63 g m<sup>2</sup>, culminando em 4,03 g m<sup>2</sup> sob 80 mm h<sup>-1</sup> de intensidade pluviométrica.

Em relação às áreas de pastagem, Fushimi e Nunes (2019), em estudo aplicado ao Pontal do Paranapanema (SP), chamam a atenção para setores com solos de reduzida resistência à penetração e baixa fertilidade, os quais apresentam dificuldade para fixação da cobertura vegetal. De acordo com os autores, os setores analisados não apresentam medidas conservacionistas adequadas, sendo que, conjuntamente com o uso intenso de tais áreas para pecuária, ocorre o aparecimento ou desenvolvimento de feições erosivas lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), fato que pode gerar um quadro expressivo de degradação, ocasionando perda de nutrientes dos solos e o assoreamento dos cursos d'água.

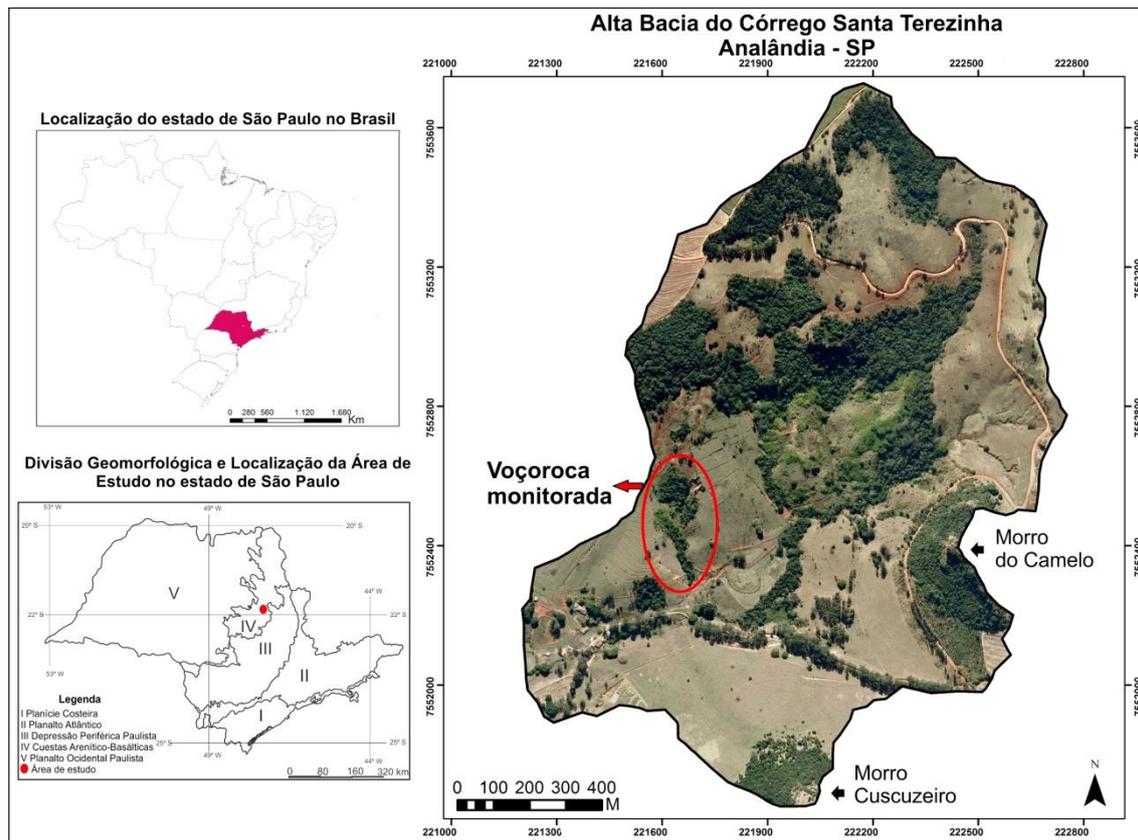
Portanto, compreende-se que a intensidade dos eventos pluviométricos constitui-se em uma força potencial para o desenvolvimento de feições erosivas, cabendo uma atenção especial a determinados padrões de uso da terra, como é o caso das pastagens em áreas tropicais e subtropicais do globo, as quais são classificadas pela FAO (2015) como as mais utilizadas e menos gerenciadas em relação às localizadas nas zonas temperadas do planeta, fato que possibilita a formação de feições erosivas. Assim, dentre variadas feições erosivas a serem analisadas, compreende-se as voçorocas como significativas na paisagem, uma vez que apresentam grandes dimensões e dinâmica evolutiva complexa (STEFANUTO; LUPINACCI, 2017). Ainda, a complexidade da evolução de voçorocas se deve a outros processos, além da intensidade das chuvas, como, por exemplo, os ciclos repetidos de dilatação e contração de argilas expansivas, responsáveis por destruir a agregação do material (BRONICK; LAL, 2005; NANDI; LUFFMAN, 2012); as descontinuidades na cimentação ao longo do perfil (XIA et al., 2019); e as ocupações humanas de alguns setores nos últimos milênios (KAPPLER et al., 2018).

Com isso, tal complexidade permite um alto número de interações possíveis e um conjunto de respostas, que em alguns casos, apresentam-se como irregulares e incertas (STEFANUTO et al., 2017). Assim, na tentativa de contribuir com a redução do grau de incerteza, apresenta-se como pressuposto deste artigo que, dentre inúmeros elementos, os volumes pluviométricos, e o uso e a cobertura da terra interferem na evolução dos taludes erosivos de voçorocas, fato que subsidia uma discussão em relação a estas variáveis.

Desta forma, objetiva-se com este artigo analisar a dinâmica evolutiva do talude erosivo de uma voçoroca localizada no setor cuestasiforme de Analândia (SP) e sua relação com os totais pluviométricos no decorrer das estações secas e úmidas (de 03/07/2017 a 09/04/2019), com o uso e cobertura da terra e com o comportamento dos solos.

## 2. Área de Estudo

A voçoroca analisada localiza-se no talus cuestasiforme da Serra do Cuscuzeiro em Analândia (SP), porção central das Cuestas Paulistas (Figura 1). A feição erosiva integra uma pequena bacia hidrográfica que compõe a alta bacia do Córrego Santa Terezinha, afluente do Rio Corumbataí.



**Figura 1.** Circulada em vermelho, localização da voçoroca monitorada na alta bacia do Córrego Santa Terezinha - Analândia - São Paulo. Fonte: IPT (1981) Emplasa (2010).

Tal setor é composto por uma significativa variação na composição litológica, apresentando cinco formações geológicas de resistências variadas (IG, 1984), sendo estas: Formação Pirambóia, a qual possui estratificação cruzada do tipo diagonal, apresentando sedimentos de origem fluvial relacionados a rios meandantes e às pequenas lagoas com condição climática dominante de oxidação (BÓRIO, 1973); Formação Botucatu, apresenta deposição em ambiente predominantemente desértico, com intercalações de sedimentos fluviais e lacustres (SCHNEIDER et al., 1974), sendo ainda, caracterizada pela presença constante de estratificação cruzada em grandes cunhas, apresentando paleodunas (ZAINÉ, 1994); Formação Serra Geral, a qual apresenta uma sequência de rochas vulcânicas, predominantemente composta por lavas basálticas, de composição toleítica e coloração cinza a preta com amígdalas no topo dos derrames, sendo intercalada por delgadas camadas de arenitos intertrapianos (ZAINÉ, 1994); Formação Itaqueri, pós-basáltica, dotada de arenitos com cimentação argilosa, carapaças ferruginosas, folhelhos e conglomerados (FACINCANI, 2000); e Formação Santa Rita do Passa Quatro, atrelada aos depósitos cenozoicos, sendo formada por sedimentos de areias finas, compostos majoritariamente por quartzo e apresentando de 77% a 94% de areia (FACINCANI, 2000).

O setor de análise é ainda composto por uma variação de solos significativa, apresentando duas classes típicas de solos e três classes associadas (KOFFLER et al., 1992). Assim, foram identificados: Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos da Unidade Santa Clara, os quais apresentam abundância de cascalhos e calhaus no horizonte A e B, espessura do horizonte A+B inferior a 150 cm, elevado teor de minerais primários facilmente intemperizáveis e material de origem vinculado às fácies conglomeráticas da Formação Itaqueri (OLIVEIRA; PRADO, 1984); e Latossolos Vermelho-Amarelo Álicos da Unidade Coqueiro, os quais são classificados com textura média, horizonte B apédico ou com estrutura subangular fraca, com teor de argila inferior a 20% e predominância de areia grossa sobre a fina (OLIVEIRA; PRADO, 1984).

Já em relação às classes associadas, identifica-se uma primeira associação entre Neossolos Litólicos pouco evoluídos, com horizonte A assentado diretamente sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com mais de 90% de seu volume constituído por fragmentos rochosos (EMBRAPA, 2006) e Nitossolos Eutróficos ou Distróficos da Unidade Estruturada, com textura argilosa ou muito argilosa, grande homogeneidade vertical em cor, espessura

do solum superior a 120 cm e horizonte B3 podendo apresentar estrutura fraca e friável (OLIVEIRA; PRADO, 1984). Uma segunda associação ocorre entre Argissolos Vermelhos Distróficos da Unidade Barão Geraldo, os quais apresentam textura muito argilosa ou argilosa, teor de areia grossa inferior a 20% e horizonte B2 apédico, com estrutura subangular fraca e consistência friável ou muito friável (OLIVEIRA; PRADO, 1984) e Nitossolos Eutróficos ou Distróficos da Unidade Estruturada. Por fim, registrou-se, uma terceira associação entre Latossolos Vermelho Amarelo Álicos da Unidade Itororó que possuem horizonte A proeminente, textura do horizonte B argilosa ou muito argilosa, em função do material de origem ser suprabasáltico, constituindo solos muito profundos e muito friáveis (OLIVEIRA; PRADO, 1984); e Plintossolos Pétricos Concrecionários, que são compostos por material mineral, no qual se identificam horizontes litoplínticos ou concrecionários, sendo pouco profundos, porém, com mais de 30% de terra fina argilosa ou muito argilosa, a qual não apresenta crescimento substancial ao longo do perfil (OLIVEIRA; PRADO, 1984).

Ainda, a maior parte da bacia, assim como o entorno da voçoroca, apresenta, majoritariamente, pastagens destinadas à pecuária, desde 1962 (STEFANUTO, 2019), sendo que parte do talude erosivo é sobreposto pela espécie arbustivo-arbórea *Tecoma stans*, a qual é classificada por Pedrosa-Macedo e Bredow (2004) como espécie invasora, uma vez que pode substituir a vegetação nativa. Tal vegetação invasora possui característica caducifólia marcante.

### 3. Materiais e Métodos

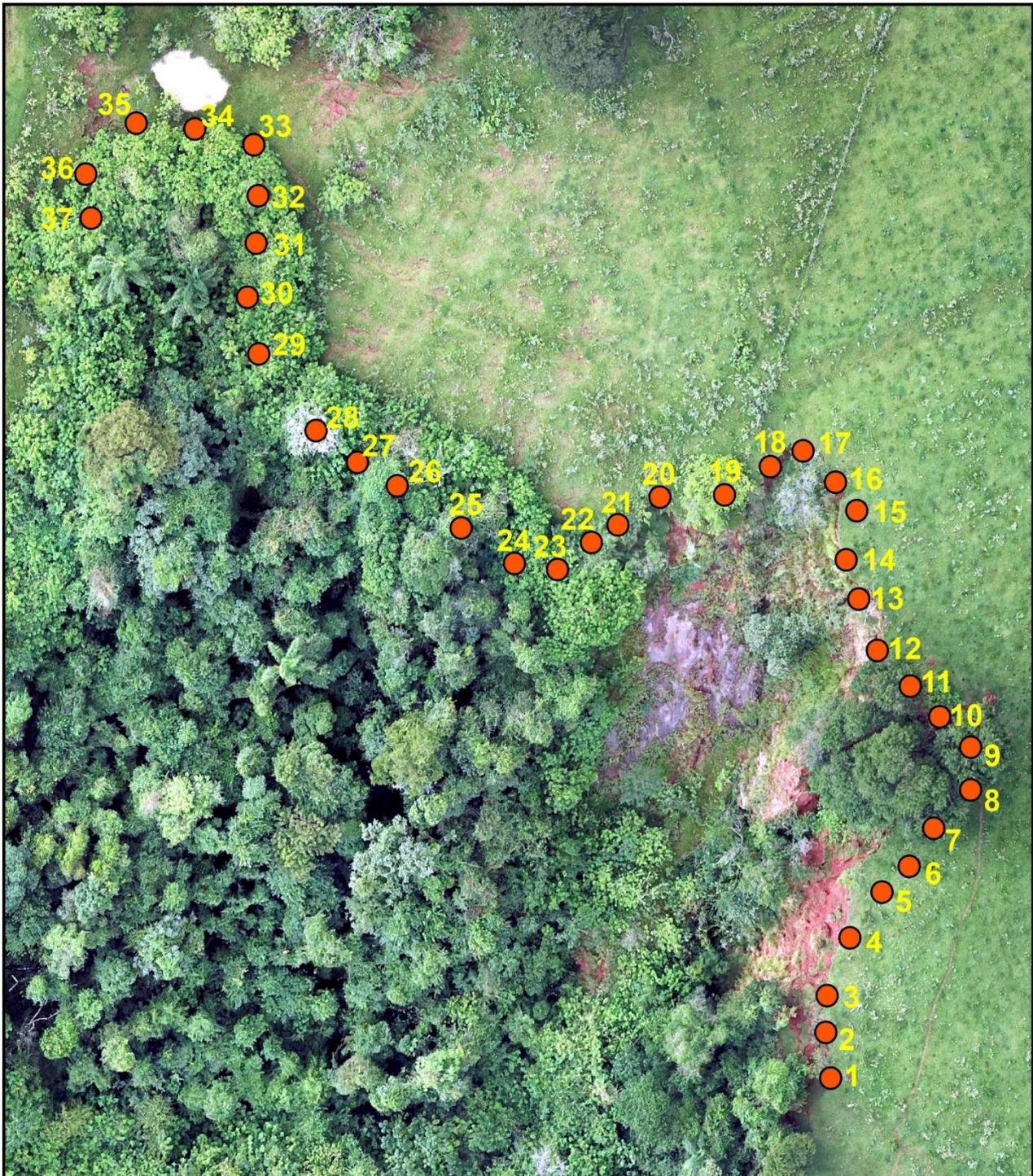
Os procedimentos metodológicos para obtenção do conjunto de dados deste artigo se pautaram no monitoramento do talude erosivo, na mensuração dos dados pluviométricos e na classificação do uso e cobertura da terra sobre o talude erosivo.

#### 3.1 Monitoramento do talude erosivo da voçoroca

O monitoramento do talude erosivo foi realizado por meio de dois procedimentos: um manual, utilizando estacas de erosão (GUERRA, 2002) e outro digital, com o uso de uma estação total *Spectra Precision Focus 6* (MATHIAS, 2016). As estacas foram instaladas no dia 03 de julho de 2017.

Primeiramente, buscando garantir uma boa precisão ao monitoramento do talude e um critério métrico para instalação das estacas, construiu-se um esquadro (LEAL; RODRIGUES, 2011), o qual garantiu que todas as estacas fossem fixadas a 97 cm do talude erosivo. Assim, instalaram-se 37 estacas de monitoramento com espaçamento médio de 5 metros, assegurando o acompanhamento longitudinal de aproximadamente 200 m do talude (Figura 2). Entre os 97 cm do talude e a estaca de monitoramento foram adicionadas estacas auxiliares, visando demarcar o rumo no qual a evolução do talude havia sido mensurada no levantamento anterior.

A cada três meses, realizou-se o monitoramento do talude erosivo, quantificando a evolução dos pontos de forma analógica e digital. O intervalo trimestral se justifica, pois permite o levantamento de dados das estações secas e chuvosas, assim como dos períodos de transição. Diferentemente da proposta de Guerra (2002), formulada para medidas analógicas, nas quais as estacas são fixadas no entorno da voçoroca e mede-se a distância do talude até a estaca; as estacas deste estudo foram reposicionadas a cada levantamento para uma distância de 97 cm do talude. Tal adaptação fez-se necessária uma vez que, para o levantamento digital, utilizou-se uma estação total, a qual não permitiu a fixação do prisma na borda exata da voçoroca, sendo este fixado junto à estaca (97 cm do talude) de monitoramento, procedimento que também garantiu agilidade nos levantamentos. A estação total utilizada permitiu manter a precisão geográfica dos pontos com uma margem de erro de 2 a 4 cm, limiar que foi corrigido em laboratório a partir dos dados analógicos. Ainda, o monitoramento digital disponibilizou um banco de dados virtual do posicionamento das estacas de monitoramento, fato que pode auxiliar em uma possível perda de estacas em campo. O talude erosivo foi monitorado durante 21 meses, de 03 de julho de 2017 a 09 de abril de 2019.



**Figura 2.** Estacas de monitoramento do talude erosivo. Fonte: os autores.

### 3.2 Aquisição de dados pluviométricos

Para obtenção dos dados pluviométricos, optou-se pela instalação de um pluviômetro digital modelo Davis 7852, sendo este acoplado a um *Rainlogger* modelo 3002. Antes da instalação, os equipamentos foram submetidos à calibração em laboratório. A instalação ocorreu em um poste de 3 metros de altura, sendo o pluviômetro fixado na parte superior e o *logger* armazenado no interior de um quadro de comando com vedação para água. O setor de instalação constitui-se em um terreno com vegetação rasteira, fator que minimiza possíveis interferências na coleta de dados. Além disso, o poste foi alocado a 30 m do talude da voçoroca monitorada.

Destaca-se que os dados do mês de agosto de 2017 sofreram avarias, devido ao imprevisto causado por abelhas, sendo as informações do referido mês coletadas junto ao banco de dados do Departamento de Águas e

Energia Elétrica – DAEE, posto de coleta prefixo D4-035. Por fim, os dados coletados foram organizados em tabelas de acordo com os trimestres de monitoramento do talude erosivo.

### 3.3 Dados de uso e cobertura da terra

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos a partir de cartas elaboradas por Stefanuto (2019) para os anos de 2010 e 2019, sendo o cenário mais recente reambulado *in situ*, a partir dos trabalhos de campo realizados trimestralmente.

### 3.4 Análise dos dados

Os dados deste artigo foram analisados quali-quantitativamente a partir de uma perspectiva comparativa entre as variáveis: evolução do talude erosivo, volume de chuva e uso e cobertura da terra sobre o talude erosivo.

## 4. Resultados e Discussão

Em um primeiro momento, é importante compreender o uso agrícola do setor de voçorocamento, assim como a cobertura sobre o talude erosivo da voçoroca. Assim, de acordo com Stefanuto (2019), a área em que a voçoroca ocorre é predominantemente ocupada por pastagens voltadas para pecuária, sendo identificado no local um baixo emprego de técnicas de manejo, como rodízio do pasto, manutenção de terraços e adubação da pastagem. Desta forma, tal setor, com pouca manutenção e consequente falha na cobertura herbácea, apresenta ambiente propício para o desenvolvimento de espécies exóticas como a *Tecoma stans*.

A *Tecoma stans*, como classificam Pedrosa-Macedo e Bredow (2004), é uma espécie invasora e que, de acordo com Stefanuto (2019), entre 2010 e 2019 apresentou-se em plena expansão na bacia hidrográfica em que a voçoroca está localizada. Ainda, é importante destacar que parte do talude erosivo da voçoroca é recoberto por tal vegetação, fato que agrega maior dinâmica à frente de evolução, uma vez que a vegetação apresenta comportamento caducifólio (Figura 3). Já, a outra parcela do talude, é ocupada por gramíneas voltadas para a pecuária.



**Figura 3.** Espécie *Tecoma stans* (Vegetação Invasora), durante os períodos seco e úmido na frente de evolução do talude da voçoroca analisada. Fonte: os autores.

Desta forma, a Tabela 1 busca sintetizar os principais dados obtidos em relação às características pluviométricas e à evolução do talude erosivo.

**Tabela 1.** Período de análise, evolução do talude erosivo e precipitação

Período de análise	Evolução do talude erosivo (cm)	Precipitação total no período (mm)
De 03/07/2017 a 03/10/2017	104,5	42,3
De 03/10/2017 a 03/01/2018	54,1	516
De 03/01/2018 a 04/04/2018	32,6	400,8
De 04/04/2018 a 27/06/2018	83,7	13,6
De 27/06/2018 a 09/10/2018	9,2	129,4
De 09/10/2018 a 04/01/2019	34,7	406,8
De 04/01/2019 a 09/04/2019	25,2	470,6

Primeiramente, a partir de uma análise geral dos dados, não se identificou uma congruência entre os períodos mais chuvosos e os de maior evolução do talude erosivo. Desta forma, a relação não é direta entre as duas variáveis em alguns trimestres, podendo questionar-se, em um primeiro momento, a interação entre volume de chuva e evolução erosiva. Assim, apresenta-se a seguir uma análise individual de cada período, buscando avaliar e elucidar a relação entre as variáveis apresentadas na Tabela 1 e suas interações com o uso e a cobertura sobre o talude.

O primeiro trimestre de análise, de 03/07/2017 a 03/10/2017, apresenta a maior evolução do talude e o segundo menor volume de precipitação. Para subsidiar a análise de tal relação, destaca-se o trabalho de Mendes (1993), no qual a autora afirma que a transição entre o período seco e úmido constitui-se em um momento significativo para evolução de feições erosivas, principalmente em solos com maior teor de argila, como os Nitossolos, sendo estes identificados na área de voçorocamento (Figura 4; KOFFLER et al., 1992). Ainda, Mendes (1993) afirma que os Nitossolos podem apresentar gretas de ressecamento, fator que contribui para a fragmentação do pacote de solo e a maior friabilidade do material. Com isso, as primeiras chuvas do período úmido, que neste estudo ocorreram no mês de outubro, são precedidas por totais pluviométricos baixos (Julho: 0 mm; Agosto: 21,3 mm e Setembro: 22 mm), fato que provavelmente propiciou o ressecamento do material argiloso e a ocorrência de gretas e fendas.

**Figura 4.** Fendas de ressecamento em Nitossolo da área de estudo. Fonte: Os autores.

Ainda, a partir dos dados dos três primeiros dias do mês de outubro de 2017, foi possível identificar a contribuição da intensidade dos eventos chuvosos do período para a evolução do talude erosivo. Nos três primeiros dias de outubro, registraram-se 27,4 mm de precipitação, ocorrendo uma concentração significativa no dia 02/10/2017, no qual se registrou um evento com intensidade relevante, caracterizado por um volume de 13,8 mm de precipitação em um período de 6h10 min, fato que também corrobora com o constatado por outros autores, que identificaram contribuição de eventos chuvosos intensos para evolução de voçorocas (VALENTIM et al., 2005). Desta forma, compreende-se que o baixo volume de chuvas do período antecedente aos primeiros eventos pluviométricos da estação úmida, garantiu o ressecamento e a fragilização do pacote argiloso presente nos Nitossolos, sendo que as chuvas intensas, ocorridas no final do trimestre de análise, encontraram um material fragilizado pelas gretas e fendas, fato que permitiu uma evolução total de 104,5 cm no período.

Já nos os períodos de 03/10/2017 a 03/01/2018 e de 03/01/2018 a 04/04/2018, o volume pluviométrico foi proporcional à evolução, uma vez que no primeiro trimestre registrou-se 516 mm de chuva e 54,1 cm de evolução do talude e no segundo 400,8 mm de chuva e 32,6 cm de evolução. Em ambos os períodos, chuvas com intensidade significativa foram registradas no período de 24 horas, com 44 mm em 20/12/2017 e 71 mm em 17/03/2018, sendo que a intensidade destes eventos pode ter contribuído para evolução da feição erosiva (DAEE, 2018; VALENTIM et al., 2005). Ainda, compreende-se que os altos volumes pluviométricos, com alguns eventos intensos, criaram condições para o desenvolvimento de processos geomorfológicos como o *splash* e *runoff*, fato que contribuiu para evolução do talude erosivo; no entanto, as argilas, agora hidratadas, disponibilizaram um pacote mais coeso para a ação erosiva, o que pode justificar uma evolução em centímetros menor em relação ao primeiro período analisado.

Ainda, os dados referentes ao período de 04/04/2018 a 27/06/2018, representam o segundo maior trimestre de evolução do talude e o menor volume pluviométrico, sendo essa uma combinação um tanto quanto complexa. Desta forma, considera-se que os dados possuem uma relação intrínseca com a cobertura vegetal do setor, uma vez que os principais pontos de evolução no período (estacas 25, 26 e 29 com evoluções, respectivamente, de: 23,8 cm, 10,1 cm e 17,1 cm) estavam localizados na área do talude com vegetação arbustiva/arbórea. Tal afirmação fundamenta-se no fato de que, durante o período seco, a espécie *Tecoma stans* apresentou comportamento caducifólio (Figura 3), o que reduziu o adensamento da vegetação e possibilitou a maior circulação do gado na frente de evolução erosiva, contribuindo possivelmente, através do pisoteio, para o desenvolvimento do setor. Ainda, cabe um destaque na análise deste trimestre, uma vez que determinados estudos trabalham com a ideia da revegetação como um método útil para retardar a progressão de voçorocas (BASTOLA et al., 2018); tal afirmação claramente é fundamentada, mas, como mostram os dados discutidos, é primordial uma atenção com a espécie arbustiva/arbórea a ser implementada, uma vez que, por exemplo, de acordo com Bastola et al. (2018) o tipo de enraizamento da espécie interfere na estabilização de voçorocas. Outro apontamento pertinente na análise do período (de 04/04/2018 a 27/06/2018), está no fato dos meses anteriores terem apresentado volumes de chuva significativos, fato que pode ter gerado recarga de águas subterrâneas, as quais desencadeiam fluxos subsuperficiais, responsáveis pela dinamização da evolução do talude erosivo e formação de dutos (MATHIAS; NUNES, 2019)

Em relação ao período de 27/06/2018 a 09/10/2018, registrou-se o menor valor de evolução durante os 21 meses de monitoramento, fato que apresenta um contraponto interessante quando se compara este período ao mesmo trimestre de 2017 (de 03/07/2017 a 03/10/2017), no qual se registrou a evolução mais acentuada durante a análise. Desta forma, verificando os volumes pluviométricos destes três meses, constata-se que, em relação a 2017 (Julho: 0 mm; Agosto: 21,3 mm e Setembro: 22 mm), os volumes pluviométricos de 2018 (Julho: 4,8 mm; Agosto: 73,8 mm e Setembro: 50,8 mm) foram mais significativos, fato que provavelmente permitiu o material argiloso estar hidratado e mais coeso no início da estação chuvosa, em outubro de 2018. Com isso, as primeiras chuvas do período úmido de 2018 ocorreram sobre um material, provavelmente, com poucas gretas e fendas de ressecamento, em relação ao mesmo período de 2017, o que permitiu menor evolução no último ano.

Por fim, os períodos de 09/10/2018 a 04/01/2019 e de 04/01/2019 a 09/04/2019 voltaram a apresentar uma erosão do talude mais significativa em relação ao trimestre de 27/06/2018 a 09/10/2018, fato provavelmente associado ao aumento dos totais pluviométricos (09/10/2018 a 04/01/2019: 406,8 mm e 04/01/2019 a 09/04/2019: 470,6 mm). No entanto, os dados de evolução, quando comparados ao período total de análise, apresentaram evolução erosiva com valores intermediários (09/10/2018 a 04/01/2019: 34,7 cm e 04/01/2019 a 09/04/2019: 25,2 cm), o que pode estar

associado à hidratação do pacote argiloso e ao adensamento da vegetação vinculada a *Tecoma stans*, limitando o pisoteio de animais próximo ao talude erosivo.

Assim, compreende-se que alguns dados demonstram uma evolução do talude erosivo influenciada por fatores locais, o que embasa, de acordo com Murray et al. (2009), o entendimento das respostas deste sistema como não lineares, sendo estas de difícil previsibilidade e subsidiárias de uma complexidade. Com isso, dois fatores sustentam a ideia de complexidade neste setor, sendo estes: o fato de um dos períodos de maior evolução do talude erosivo ocorrer na transição entre a estação seca e úmida e não somente durante a úmida, na qual ocorrem os volumes pluviométricos mais significativos; e a constatação de que o talude erosivo com vegetação arbórea/arbustiva apresenta maior evolução do que o recoberto por gramíneas.

Portanto, esse artigo sustenta que é importante avaliar a relação entre a evolução do talude e as chuvas, no entanto, a compreensão de elementos como a cobertura do talude erosivo, a composição e o comportamento dos solos e a dinâmica das águas subterrâneas são fatores de suma importância quando se pretende analisar setores em voçorocamento.

## 5. Conclusões

Conclui-se que o conjunto de relações não lineares identificadas entre os dados de evolução do talude erosivo e os totais pluviométricos, assim como as interações com as variáveis de uso e cobertura da terra e comportamento dos solos, embasam classificar tal relação como complexa. Esta afirmação é ratificada pela maior erosão do talude em períodos de transição entre as estações seca e úmida e a evolução significativa deste sob vegetação arbustiva/arbórea. Portanto, o desafio científico para compreensão da evolução de taludes erosivos em voçorocas ainda é grande, exigindo estudos mais avançados em relação à interação da evolução erosiva, da composição dos solos, da cobertura e uso dos terrenos adjacentes ao talude, da dinâmica dos fluxos de águas subterrâneas, e fatores morfométricos, como a declividade, variável de grande importância em setores de talus cuneiforme.

**Contribuições dos Autores:** Concepção, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci; metodologia, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci; validação, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci; análise formal, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci; pesquisa, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci; recursos, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci; preparação de dados, Estêvão Stefanuto; escrita do artigo, Estêvão Stefanuto; revisão, Cenira Lupinacci; supervisão, Cenira Lupinacci; aquisição de financiamento, Estêvão Stefanuto e Cenira Lupinacci. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pela FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP), número das bolsas: 16/25399-1 e 18/09746-9. Ainda, o presente trabalho também foi realizado com apoio da COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

## Referências

- BASTOLA, S.; DIALYNAS Y. G.; BRAS, R. L.; NOTO, L. V.; ISTANBULLUOGLU, E. The role of vegetation on gully erosion stabilization at a severely degraded landscape: A case study from Calhoun Experimental Critical Zone Observatory. *Geomorphology*, v. 308, p. 25–39, 2018. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.12.032
- BÓSIO, N. J. *Geologia da Área de São Pedro*. Tese – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973. 125p.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, 2005. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005
- CHU, S.; OUYANG, J.; LIAO, D.; ZHOU, Y.; LIU, S.; SHEN, D.; WEI, X.; ZENG, S. Effects of enriched planting of native tree species on surface water flow, sediment, and nutrient losses in a Eucalyptus plantation forest in southern China. *Science of the Total Environment*, v. 675, p. 224–234, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.214
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Hidrologia: banco de dados hidrológicos – Município – Analândia – D4-035 – Chuva diária – 2017/2018**. Disponível em: <

- <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/Default.aspx?dadosorigem=Pluviom%C3%A9tricos&ugrhi=UGRHI&cidadeugrhi=PIRACICABA%2FCAPIVARI%2FJUNDIAI&prefixoposto=D3-018>>. Acesso em: 05 de outubro de 2022.
6. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2006.
  7. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO - EMPLASA. **Projeto Mapeia São Paulo**. São Paulo: EMPLASA, 2010. Escala 1:25.000.
  8. EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL – EASAC. **Extreme weather events in Europe**. 2018a. Disponível em: <<https://easac.eu/publications/details/extreme-weather-events-in-europe/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2020.
  9. EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL – EASAC. **Opportunities for soil sustainability in Europe**. Germany: German National Academy of Sciences Leopoldina, 2018b. Disponível em: <<https://easac.eu/publications/details/opportunities-for-soil-sustainability-in-europe/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2020.
  10. FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da depressão periférica paulista e cuesta basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP**. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. 222p.
  11. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Status of the World's Soil Resources**. Roma: FAO, 2015.
  12. FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Fragilidade ambiental dos solos à erosão linear em setores de pastagem: estudo de caso em parte dos municípios de Presidente Prudente, Marabá Paulista e Presidente Epitácio, região extremo oeste do estado de São Paulo. **Terra Livre**, v. 1, n. 52, p. 662-694, 2019.
  13. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo - IPT. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo: Nota Explicativa**. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:1.000.000.
  14. Instituto Geológico - IG. **Folha Geológica de Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2): Formações Geológicas de Superfície**. São Paulo: Instituto Geológico, 1984. Escala 1:50.000.
  15. KAPPLER, C.; KAISER, K.; TANSKI, P.; KLOS, F.; FÜLLING, A.; MROTZEK, A.; SOMMER, M.; BENS, O. Stratigraphy and age of colluvial deposits indicating Late Holocene soil erosion in northeastern Germany. **Catena**, v. 170, p. 224–245, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2018.06.010
  16. KOFFLER, N. F.; MACHADO, M. L. de A.; DAROS, E.; PROCHNOW, E. A. **Solos da bacia do Rio Corumbataí**. Rio Claro: Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1992. Escala: 1:50.000.
  17. GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A. J. T. (Ed.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p. 139-155.
  18. LEAL, P. C. B.; RODRIGUES, S. C. Uso e comparação do método de estaqueamento, o método DGPS e geoprocessamento no monitoramento de uma área erosiva na Fazenda do Glória – Uberlândia, MG. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 29, p. 18-35, 2011. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74184
  19. MATHIAS, D. T. **Contribuição Metodológica para o Diagnóstico da Dinâmica Erosiva Linear e seu Prognóstico Evolutivo visando subsidiar Projetos de Recuperação**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016. 178p.
  20. MATHIAS, D. T.; NUNES, J. O. R. A dinâmica geotecnogênica em áreas periurbanas: município de São Pedro (SP). **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 484-498, 2019. DOI: 10.5007/2177-5230.2019v34n70p484
  21. MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do córrego Lafon – Araçatuba – SP**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. 171p.

22. MURRAY, A. B.; LAZARUS, E.; ASHTON, A.; BAAS, A.; COCO, G.; COULTHARD, T.; FONSTAD, M.; HAFF, P.; MACNAMARA, D.; PAOLA, C.; PELLETIER, J.; REINHARDT, L. Geomorphology, complexity, and the emerging science of the Earth's Surface. **Geomorphology**, v.103, p.496-505, 2009. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.08.013
23. NANDI, A.; LUFFMAN, I. Erosion related changes to physicochemical properties of Ultisols distributed on calcareous sedimentary rocks. **Journal of Sustainable Development**. v.5, n.8, p.52-68, 2012. DOI: 10.5539/j.s.d.v5n8p52
24. OLIVEIRA, J. B. de; PRADO, H. do. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos – II Memorial Descritivo. **Boletim Técnico Nº 98**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984.
25. PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Physical parameters of soil and erosion under simulated rainfall, in pasture-agriculture integration system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 261–268, 2006. 10.1590/S1415-43662006000200003
26. PEDROSA-MACEDO, J. H.; BREDOW, E. A. **Princípios e rudimentos do controle biológico de plantas: coletânea**. Curitiba: [s.n.], 2004.
27. SCHNEIDER, R. L. et. al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro Geologia, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1974, p. 41-65.
28. SHEN, H.; ZHENG, F.; WEN, L.; HAN, Y.; HU, W. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 429–436, 2016. 10.1016/j.still.2015.09.011
29. STEFANUTO, E. B. **Análise da Dinâmica Erosiva Linear e seu Potencial Evolutivo em Ambiente Agrícola**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2019. 123p.
30. STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Atuação dos sistemas de forçamento nos sistemas terrestres a partir da ação antrópica. In: Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada e Congresso Nacional De Geografia, 17 e 1., 2017, Campinas **Anais...** Campinas, 2017. p. 6151-6161. ISBN 978-85-85369-16-3
31. STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Avaliação das Características Ambientais de Ocorrências das Feições Erosivas Lineares nos Limites Depressão-Cuesta - Analândia (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 70, p. 367–384, 2019. DOI: 10.14393/RCC207043159
32. STEFANUTO, E. B.; ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M. Análise histórica do uso da terra em Antropogeomorfologia: Alguns exemplos paulistas. **Revista Brasileira de Geografia**, v.62, n.2, p. 95-112, 2017. DOI: 10.21579/issn.2526-0375\_2017\_n2\_p95-112
33. VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG LI. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**. n. 63, p.132-153, 2005. DOI: 10.1016/j.catena.2005.06.001
34. XIA, J.; CAI, C.; WEI, Y.; WU, X. Granite residual soil properties in collapsing gullies of south China: spatial variations and effects on collapsing gully erosion. **Catena**, v. 174, p. 469–477, 2019. DOI: 10.1016/j.catena.2018.11.015
35. ZAINÉ, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994. 98p.



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.