



USO DA TERRA NA SERRA DA MANTIQUEIRA E A EVOLUÇÃO DE FEIÇÕES EROSIVAS

Pedro Pellegrini Coutinho Rodrigues Leal ¹
Cenira Maria Lupinacci ²

RESUMO

A erosão é um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela evolução do relevo, impactando diretamente a sustentabilidade ambiental e a produtividade agrícola. O presente estudo avalia as modificações no uso da terra entre 2007 e 2024 na bacia de um afluente do rio Passa-Vinte, localizado no município de Cruzeiro (SP), e investiga como essas alterações influenciaram a formação e expansão de feições, como ravinas e sulcos e terracetes vinculados ao creeping. A metodologia adotada baseia-se na análise de imagens orbitais de alta resolução dos anos de 2007 e 2024, fornecidas pela plataforma Sentinel, utilizando técnicas de geoprocessamento para classificar e quantificar as diferentes categorias de uso da terra. Foram identificadas classes como áreas de vegetação nativa, pastagens, agricultura, solo exposto e áreas com construções. Além disso, foram aplicadas ferramentas de sensoriamento remoto para detectar padrões de alteração na cobertura do solo e sua relação com a ocorrência de erosão. A substituição de formações vegetais por práticas inadequadas de manejo do solo, como a ausência de terraceamento e a compactação do terreno pelo pisoteio do gado, aumentou a suscetibilidade erosiva da região, e a ocorrência de terracetes. O incremento do solo exposto em áreas declivosas favoreceu a formação de sulcos e ravinas, intensificando os processos erosivos e comprometendo a estabilidade das encostas. A comparação entre os dois períodos analisados evidencia que a intensificação do uso das áreas antropizadas contribuiu para o agravamento da erosão hídrica, com maior concentração de feições erosivas em setores anteriormente cobertos por vegetação. As ravinas, que se formam devido à concentração do escoamento superficial, apresentam crescimento nas áreas de maior declividade, indicando que a perda da cobertura vegetal resultou em maior intensidade de processos de remoção de solo. Já os sulcos, característicos de estágios iniciais da erosão linear, tornaram-se mais numerosos em áreas destinadas à pastagem intensiva, sugerindo um manejo inadequado da terra ao longo dos anos. Diante desse cenário, a identificação das áreas mais vulneráveis permite sugerir estratégias para mitigação dos impactos erosivos. Os resultados deste estudo ressaltam a importância do monitoramento contínuo do uso da terra e da implementação de políticas ambientais eficazes para reduzir os impactos da erosão. A compreensão da dinâmica erosiva no afluente do rio Passa-Vinte contribui para o planejamento territorial sustentável não apenas do Município, mas de grande parte da extensão da Serra da Mantiqueira, promovendo a conservação dos recursos naturais e a recuperação de áreas degradadas na região.

Palavras-chave: cobertura do solo, ravinas, sulcos erosivos, terracetes, creeping.

¹ Mestrando do Curso de Pós-Graduação em **Geografia** da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, pedro.pcr.leal@unesp.br;

² Professora Titular do Curso de **Geografia** da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP, cenira.lupinacci@unesp.br.



INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo natural fundamental na modelagem da paisagem terrestre (Ross, 1990). No entanto, atividades antrópicas, especialmente aquelas relacionadas ao uso inadequado da terra, têm acelerado drasticamente as taxas erosivas em diversas regiões do globo. Assim, esses processos acelerados comprometem a estabilidade do solo, a produtividade agrícola e a qualidade ambiental (Mendes et al, 2017). Lal (1990) categoriza essa erosão como acelerada, sendo os processos erosivos impulsionados majoritariamente pela intervenção da atividade humana no relevo. A remoção da camada superficial do solo, rica em matéria orgânica e nutrientes, compromete a capacidade produtiva das terras agrícolas, gerando perda de produtividade e causa o assoreamento de corpos d'água, prejudicando a qualidade da água, além de aumentar o risco de inundações (De Freitas, 2002).

Dentre as diversas formas de manifestação da erosão hídrica, os sulcos e ravinas representam estágios de difícil controle. Dessa forma, as feições erosivas lineares que podem atingir grandes dimensões e profundidades, tornando as áreas afetadas impróprias para o uso agrícola e representando um risco geotécnico (Souza, 2015). Adicionalmente, em áreas de declive acentuado com determinados tipos de uso e cobertura, como pastagens, podem se formar terracetes associados ao fenômeno de creeping (rastejo lento do solo), frequentemente intensificados pelo pisoteio do gado, que também contribuem para a instabilidade das encostas e alteração do fluxo hídrico superficial (Govers et al., 1993).

Como pontuado anteriormente, as mudanças no uso e cobertura da terra são reconhecidas como um dos principais fatores causadores da erosão acelerada. A substituição da vegetação nativa por pastagens mal manejadas, monoculturas extensivas sem práticas conservacionistas ou expansão urbana desordenada expõe o solo à ação direta da chuva e do escoamento superficial, aumentando sua vulnerabilidade (Morgan, 2005). Nesse contexto, o monitoramento contínuo das alterações na cobertura vegetal e o entendimento de sua relação com os processos erosivos são cruciais para o planejamento territorial e a implementação de medidas mitigadoras eficazes.



A região da Serra da Mantiqueira, na qual se localiza o município de Cruzeiro (SP), é caracterizada por um relevo acidentado e solos suscetíveis à erosão e observa-se uma forte ligação da agropecuária à formação de pastagens em terrenos inclinados, o que intensifica os processos de escoamento superficial e perda de solo (Silva, 2023).

Considerando estas questões, este estudo tem como objetivo principal avaliar as modificações no uso e cobertura da terra ocorridas entre os anos de 2007 e 2024 na bacia de um afluente do rio Passa-Vinte (Figura 1), em Cruzeiro (SP), e investigar como essas transformações espaciais influenciam a dinâmica dos processos erosivos, com foco na formação e expansão de sulcos, ravinas e terracetes. Especificamente, busca-se: (i) mapear e quantificar a área ocupada por cada classe de uso e cobertura da terra nos anos de 2007 e 2024; (ii) identificar, mapear e quantificar a evolução das feições erosivas (sulcos e ravinas) nos mesmos períodos; (iii) analisar a correlação espacial entre as áreas com maior incidência e crescimento de feições erosivas e as diferentes classes de uso e cobertura da terra, com especial atenção às áreas de pastagem; e (iv) discutir as implicações desses processos para a gestão ambiental da bacia e propor diretrizes para o manejo sustentável do solo.

A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com base em imagens orbitais de alta resolução, permite uma análise multitemporal eficiente e de baixo custo relativo, permitindo monitorar essas dinâmicas e subsidiar estratégias de conservação do solo (Filchev e Kolev, 2023).



Figura 1 - Localização da Bacia de Estudo em Cruzeiro (SP)

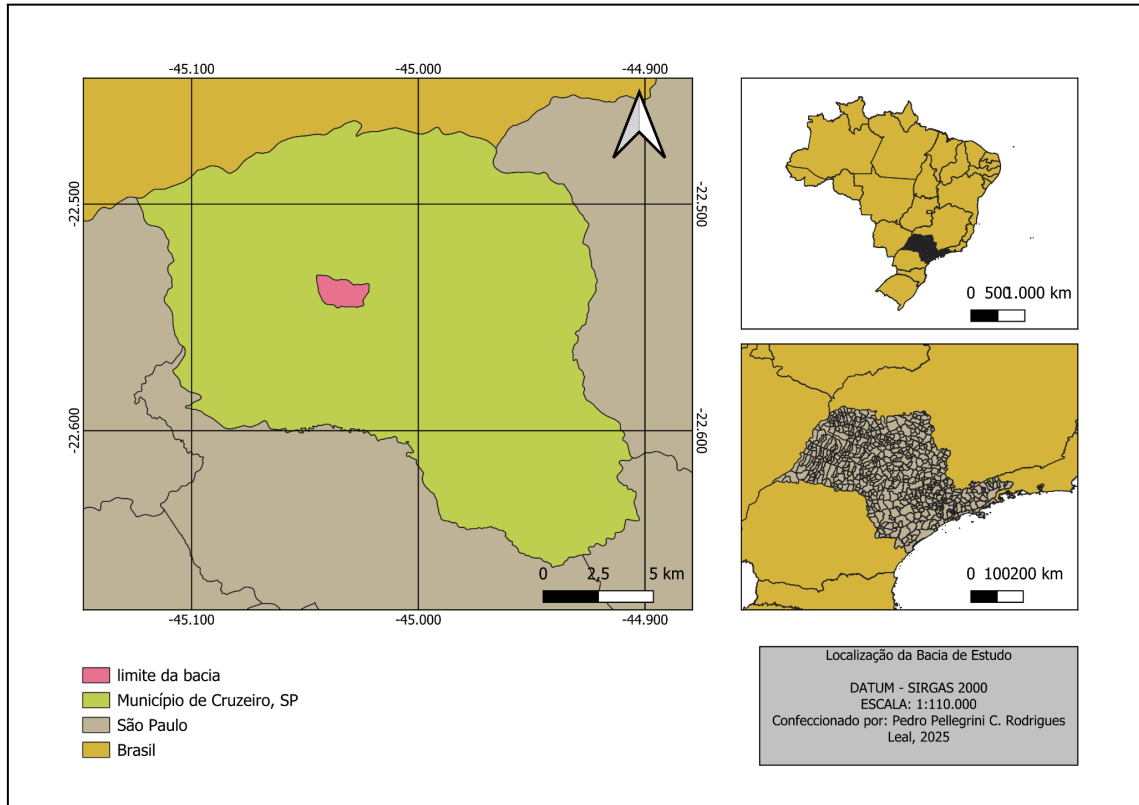


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo. Confeccionado pelos autores, 2025.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo envolve etapas de aquisição e processamento de dados de sensoriamento remoto, fotointerpretação e análise geoespacial para identificar as mudanças no uso e cobertura da terra e a evolução das feições erosivas entre 2007 e 2024.

3.1. Aquisição de Dados Orbitais

Foram utilizadas imagens orbitais de alta resolução espacial para os dois períodos analisados. Para o ano de 2024 e 2007 foram adquiridas imagens do sensor Pléiades - Airbus, disponível na plataforma Google Earth, com resolução espacial de 50 centímetros para as bandas do visível.



3.2. Classificação do Uso e Cobertura da Terra

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi realizado por meio de classificação digital supervisionada das imagens orbitais, utilizando o software de geoprocessamento ArcGis Pro. Foram definidas as seguintes classes temáticas, conforme identificado:

Vegetação Nativa: Inclui formações florestais (Mata Atlântica) em diferentes estágios de regeneração e outras formas de vegetação nativa densa.

Pastagens: Áreas destinadas à criação de gado, com predomínio de gramíneas, podendo apresentar diferentes níveis de degradação.

Solo Exposto: Áreas desprovidas de cobertura vegetal significativa, incluindo solo preparado para plantio, áreas erodidas ou áreas em processo de terraplanagem.

Áreas com Construções: Inclui edificações urbanas e rurais, estradas e outras infraestruturas.

Corpos d'Água: Rios, córregos e reservatórios.

Amostras de treinamento foram coletadas para cada classe, baseando-se na interpretação visual das imagens e em conhecimento de campo prévio da área. O algoritmo de classificação utilizado foi o algoritmo Máxima Verossimilhança.

3.4. Mapeamento e Quantificação das Feições Erosivas

As feições erosivas foram mapeadas por meio de fotointerpretação visual das imagens orbitais de 2007 e 2024, em ambiente SIG. Critérios como forma, tonalidade, textura e contexto paisagístico foram utilizados para a identificação e diferenciação das feições. Terracetes associados ao creeping, quando identificáveis nas imagens, também foram demarcados, especialmente em áreas de pastagem declivosas.

3.5. Análise Integrada e Espacial

Com os mapas de uso e cobertura da terra e de feições erosivas para ambos os anos, foram realizadas análises espaciais para investigar as relações entre esses temas. Foram geradas matrizes de transição para identificar as principais conversões entre as classes de uso da terra no período.



Foram calculadas as taxas de crescimento das feições erosivas (em número, comprimento ou área) e correlacionadas com as mudanças de uso observadas, especialmente nas áreas de pastagem.

REFERENCIAL TEÓRICO

A erosão, enquanto processo geomorfológico exógeno, desempenha papel central na modelagem da superfície terrestre, sendo influenciada por uma complexa interação entre fatores naturais e ações antrópicas (Ross, 1990). De maneira natural, a erosão ocorre de forma lenta e constante, sendo responsável pela renovação de materiais superficiais e pela formação de solos férteis em determinadas regiões, como as planícies aluviais. Contudo, quando intensificada por atividades humanas, torna-se acelerada e prejudicial, gerando impactos negativos tanto para os ecossistemas quanto para as atividades socioeconômicas (Lal, 1990; Dotterweich, 2013).

As práticas agrícolas intensivas, o desmatamento e o manejo inadequado do solo têm contribuído para o agravamento da erosão hídrica, especialmente em áreas com declividades acentuadas. A perda da cobertura vegetal, frequentemente observada em regiões de pastagem intensiva ou monoculturas sem técnicas conservacionistas, facilita o escoamento superficial, aumenta a compactação do solo pelo pisoteio de animais e reduz sua capacidade de infiltração, resultando em maior ocorrência de sulcos, ravinas e outras feições erosivas (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). A vegetação nativa atua como uma barreira física e biológica, estabilizando o solo com suas raízes e absorvendo o impacto das gotas de chuva, o que evidencia sua importância na mitigação dos processos erosivos (Pimentel et al., 1995; Mendes et al., 2017).

A Serra da Mantiqueira, onde se insere a área de estudo deste trabalho, constitui uma região de expressiva fragilidade ambiental devido à sua litologia predominantemente cristalina e topografia acidentada. Composta por rochas como granitos e gnaisses proterozóicos, esta unidade morfoestrutural apresenta características que, embora mais resistentes à erosão do que rochas sedimentares, são afetadas por processos como o creeping e movimentos de massa em encostas declivosas, sobretudo em áreas manejadas de forma inadequada (Marques Neto; Silva, 2019). As formas de relevo resultantes da combinação entre tectonismo antigo e intensa denudação criam paisagens suscetíveis à erosão concentrada em setores onde a cobertura vegetal é removida ou fragmentada.

Nesse contexto, o uso de tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento tem se mostrado fundamental para o monitoramento e a análise multitemporal das dinâmicas de uso da terra e de suas implicações geomorfológicas. Ferramentas como essas permitem identificar padrões de degradação, quantificar alterações na cobertura vegetal e mapear a evolução de feições erosivas com precisão espacial (Filchev e Kovel, 2023). O uso de tais tecnologias é essencial para subsidiar estratégias de planejamento territorial e conservação ambiental, sobretudo em regiões como a Serra da Mantiqueira, cuja importância hídrica, ecológica e socioeconômica requer atenção constante frente às pressões antrópicas crescentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise multitemporal do uso e cobertura da terra na bacia do afluyente do rio Passa-Vinte, entre os anos de 2007 e 2024, evidenciou transformações significativas no panorama da ocupação da paisagem. No mapeamento de feições erosivas e terracetes nos dois anos analisados (Figura 2), é possível observar um aumento considerável no número de feições.

Figura 2 - Feições Erosivas e Terracetes nos Anos de 2007 e 2024

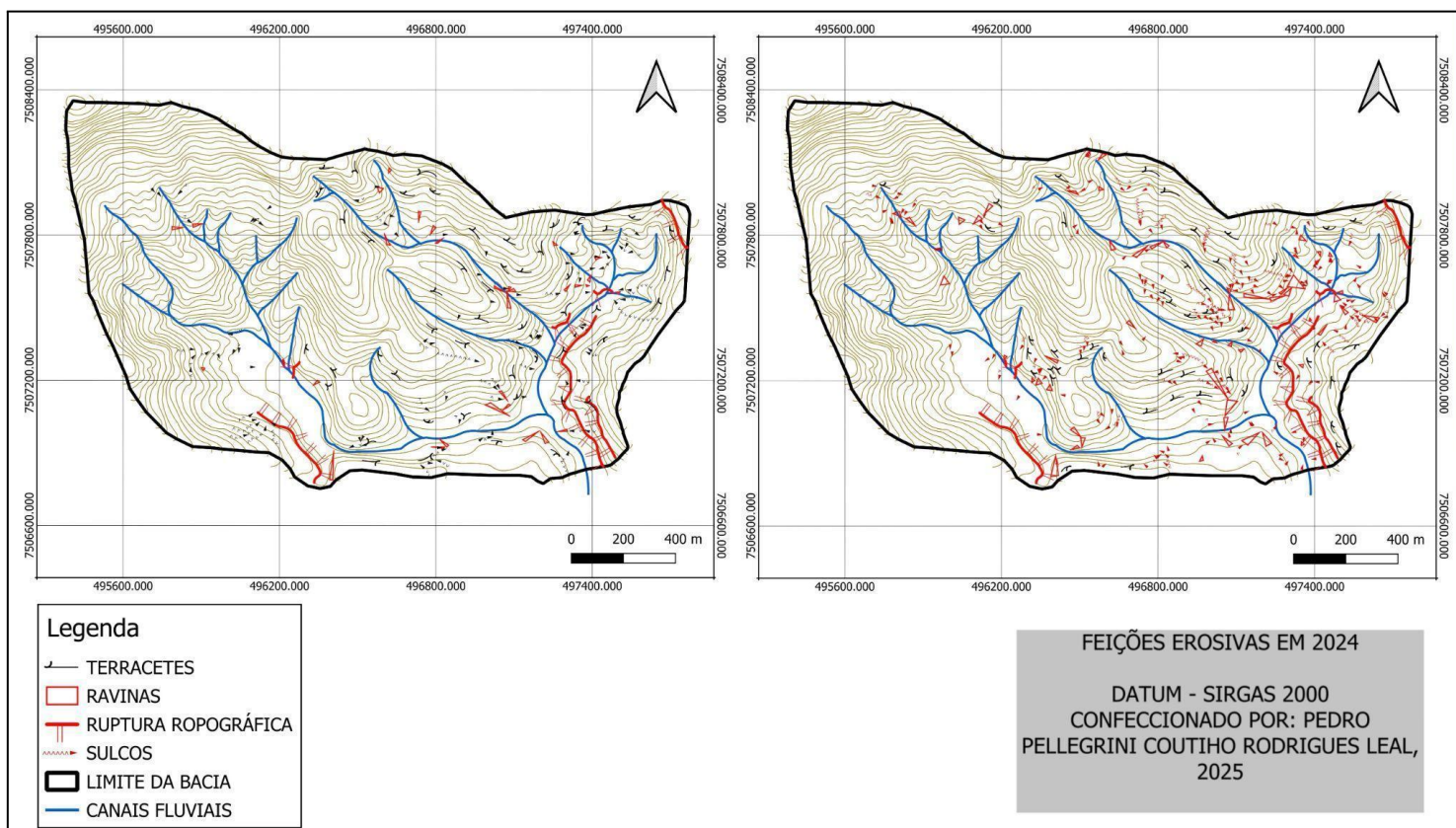




Figura 2: Feições Erosivas e Terracetes nos Anos de 2007 e 2024. Confeccionado pelos autores, 2025

Em 2007, as pastagens ocupavam aproximadamente 63,61% da bacia, enquanto a vegetação nativa correspondia a 36,39%. Já em 2024, observou-se um leve aumento nas áreas de vegetação nativa para 37,80% (95 ha), da mesma maneira, as pastagens diminuíram sua representatividade para 62,20%. Houve também um crescimento perceptível nas áreas de solo exposto, sobretudo em setores declivosos anteriormente cobertos por vegetação.

Essas mudanças no uso da terra refletem diretamente na intensificação dos processos erosivos mapeados (Tabela 1 e Figura 2). Em 2007, foram identificados 124 sulcos, 39 ravinas e 49 setores com terracetes na área de estudo. Já em 2024, os números aumentaram para 203 sulcos, 69 ravinas e 52 setores com terracetes, indicando uma tendência de agravamento dos processos de erosão hídrica.

Feição Mapeada	2007	2024
Sulcos erosivos	124	203
Ravinas	39	69
Terracetes	49	52

Tabela 1 - Quantidade de feições erosivas nos anos de 2007 e 2024. Confeccionado pelos autores, 2025

A partir desses dados, é possível observar que as ravinas apresentaram um crescimento expressivo no período analisado. O número praticamente dobrou, passando de 39 para 69 ocorrências. O crescimento das ravinas foi mais pronunciado em setores de maior declividade que perderam cobertura vegetal protetora ou onde o escoamento superficial foi concentrado por estradas rurais ou trilhas de gado. Essas feições, por seu caráter mais avançado dentro da erosão linear, representam um estágio de degradação mais difícil de ser revertido, além de comprometerem a estabilidade das encostas.

Os sulcos, por sua vez, mostraram uma expansão notável em áreas de pastagem intensiva, mesmo em declividades mais moderadas, indicando o impacto do pisoteio excessivo e da baixa cobertura vegetal do solo. Essa feição, ainda que em estágio inicial da erosão linear, serve como indicativo de degradação progressiva caso medidas conservacionistas não sejam implementadas.



A presença de terracetes foi consistentemente associada a pastagens em declives, indicando o rastejo do solo potencializado pela atividade pecuária. Embora o número de terracetes tenha aumentado de forma menos acentuada, de 49 para 52 setores com estas feições, sua distribuição espacial manteve-se concentrada em setores de maior inclinação e cobertura herbácea. A formação dessas microestruturas escalonadas resulta da movimentação lenta e contínua do solo (creeping), intensificada pelo pisoteio do gado, contribuindo para a instabilidade das encostas e o redirecionamento do fluxo hídrico superficial.

A expansão das feições erosivas em setores anteriormente recobertos por vegetação nativa reforça a importância de estratégias de manejo sustentável e recomposição vegetal, sobretudo em áreas de declive acentuado. O monitoramento contínuo do uso da terra e a adoção de práticas como terraceamento, rotação de pastagens e cercamento de nascentes podem contribuir significativamente para a contenção da degradação ambiental observada na bacia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo revelam que, embora tenha ocorrido um leve aumento na cobertura de vegetação nativa entre 2007 e 2024, passando de 36,39% para 37,80% da área da bacia, bem como uma redução proporcional nas áreas de pastagem, de 63,61% para 62,20%, os processos erosivos continuaram a se intensificar. A expansão das feições de erosão linear, como sulcos e ravinas, além da manutenção da ocorrência de terracetes, evidencia que a dinâmica erosiva na bacia não responde apenas às mudanças quantitativas de cobertura do solo, mas sobretudo à qualidade do manejo nas áreas mantidas como pastagem e ao histórico de degradação acumulado ao longo dos anos.

A permanência de práticas de uso da terra inadequadas, como o pastoreio intensivo em áreas declivosas, a ausência de técnicas conservacionistas e a falta de planejamento no traçado de vias e trilhas, contribuíram decisivamente para a concentração do escoamento superficial e a instabilidade do terreno, favorecendo o surgimento e agravamento das feições erosivas. Dessa forma, ainda que a recomposição florestal tenha apresentado um avanço pontual, ela não foi suficiente para reverter os impactos de longo prazo nem para interromper os processos de degradação em curso.



Os dados reforçam a necessidade de estratégias integradas de gestão ambiental, com foco na conservação do solo, recuperação das áreas críticas e disseminação de boas práticas de manejo em propriedades rurais. A adoção de medidas como terraceamento, cercamento de áreas de nascente, readequação de estradas vicinais e controle do pisoteio animal são ações urgentes para mitigar os efeitos da erosão e promover um uso mais sustentável do território na Serra da Mantiqueira.

Palavras-chave: Serra da Mantiqueira; Feições Erosivas, Uso da Terra, Terracetes, Sulcos.

REFERÊNCIAS

BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. Erosão hídrica em sistemas agrícolas: impactos e controle. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

DE FREITAS, Pedro Luiz. Harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, v. 22, n. 2, p. 12-17, 2002.

DOTTERWEICH, M. The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe: Deciphering the long-term interaction between humans and the environment – A review. **Geomorphology**, 2013.

FILCHEV, L.; KOLEV, V. **Assessing of soil erosion risk through geoinformation sciences and remote sensing—a review**. Recent Technologies for Disaster Management and Risk Reduction: Sustainable Community Resilience & Responses, p. 377-430, 2021.

GOVERS, G. et al. Soil creep: A review of processes and measurements. **Earth-Science Reviews**, 1993.

LAL, R. Soil erosion in the tropics: principles and management. Hill, Inc., 1990.

LAL, R. A. T. T. A. N. **Soil degradation by erosion**. Land Degradation & Development, v. 12, 9, 2001.

MARQUES NETO, P.; SILVA, L. R. Processos geomorfológicos em áreas cristalinas da Serra da Mantiqueira. **Geografia em Revista**, 2019.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 191-209, 2017

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. Inglaterra: Blackwell Publishing, 2005.

SOUZA, Natália da Costa. **Geotecnologias na análise da suscetibilidade e risco de processos erosivos em áreas de entorno de linhas férreas. Estudo de caso: malha paulista-SP (bacia do Tietê-Sorocaba)**. 2015. Tese. Universidade de São Paulo.

PIMENTEL, D. et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, 1995.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.