


# ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESSOS EROSIVOS HÍDRICOS NA TRILHA DO MORRO DOIS IRMÃOS, NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO (RJ)

DEGRADED AREAS BY WATER EROSION PROCESSES ON THE MORRO  
DOIS IRMÃOS TRAIL, IN THE MUNICIPALITY OF RIO DE JANEIRO (RJ)


ÁREAS DEGRADADAS POR PROCESOS EROSIVOS DEL AGUA EN EL CAMINO  
MORRO DOIS IRMÃOS, EN EL MUNICIPIO DE RIO DE JANEIRO (RJ)

**Guilherme Marques de Lima<sup>1</sup>**

 0000-0002-0261-1249

[guilhermem.lima@ufjf.br](mailto:guilhermem.lima@ufjf.br)

**Antonio José Teixeira Guerra<sup>2</sup>**

 0000-0003-2562-316X

[antoniotguerra@gmail.com](mailto:antoniotguerra@gmail.com)

Ano XXVII - Vol. XXVII - (1): Janeiro/Dezembro - 2023

CIÊNCIA  
**Geográfica**

ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461

[www.agbauru.org.br](http://www.agbauru.org.br)

1 Doutorando em Geografia Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro - Rio de Janeiro – Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0261-1249>. E-mail: [guilhermem.lima@ufjf.br](mailto:guilhermem.lima@ufjf.br).

2 Doutor em Erosão do Solo pela Universidade de Londres (Inglaterra). Pós-doutor pela Universidade de Wolverhampton (Inglaterra). Atualmente, é professor Titular do Departamento de Geografia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2562-316X>. E-mail: [antoniotguerra@gmail.com](mailto:antoniotguerra@gmail.com).

Artigo recebido em agosto de 2022 e aceito para publicação em fevereiro de 2023.



Este artigo está licenciado sob uma Licença  
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

**RESUMO:** A erosão hídrica é a principal responsável pela perda de solo no mundo. Os atributos físico-químicos do solo indicam de áreas susceptíveis a erosão e outras formas de degradação. A utilização de trilhas, especialmente em áreas urbanas, pode manter a conservação ambiental ou provocar o seu desequilíbrio. Sua utilização de forma intensiva, sem planejamento e sem manejo, provoca diversos tipos de degradação. Logo, esta pesquisa identificou os efeitos do pisoteio do solo na Trilha do Morro Dois Irmãos, através da obtenção e análise dos atributos físico-químicos do solo em pontos específicos desta trilha. A maioria dos atributos apresentou relação com as feições erosivas e a compactação do solo decorrentes do pisoteio de pessoas, em especial a porosidade, a densidade do solo, as frações granulométricas e os teores de matéria orgânica. Destaca-se a necessidade de recuperar e manejar as áreas degradadas pela compactação e erosão do solo ao longo da trilha.

**Palavras-chave:** Trilhas. Processos erosivos. Degradação do solo.

**ABSTRACT:** Water erosion is the main responsible for the loss of soil in the world. The physical-chemical attributes of the soil indicate areas susceptible to erosion and other forms of degradation. The use of trails, especially in urban areas, can maintain environmental conservation or cause its imbalance. Its intensive use, without planning and management, causes different types of degradation. Therefore, this research identified the effects of trampling on the Morro Dois Irmãos Trail, by obtaining and analyzing the physical-chemical attributes of the soil at specific points on this trail. Most attributes were related to erosive features and soil compaction resulting from people trampling, especially porosity, soil density, granulometric fractions and organic matter contents. The need to recover and manage areas degraded by soil compaction and erosion along the trail stands out.

**Keywords:** Trails. Erosive processes. Soil degradation.

**RESUMEN:** La erosión hídrica es la principal responsable de la pérdida de suelo en el mundo. Los atributos físico-químicos del suelo indican áreas susceptibles a la erosión y otras formas de degradación. El uso de senderos, especialmente en áreas urbanas, puede mantener la conservación ambiental o provocar su desequilibrio. Su uso intensivo, sin planificación y gestión, provoca diferentes tipos de degradación. Por lo tanto, esta investigación identificó los efectos del pisoteo en el sendero Morro Dois Irmãos, mediante la obtención y el análisis de los atributos físico-químicos del suelo en puntos específicos de este sendero. La mayoría de los atributos se relacionaron con las características erosivas y la compactación del suelo por el pisoteo de las personas, especialmente la porosidad, la densidad del suelo, las fracciones granulométricas y los contenidos de materia orgánica. Se destaca la necesidad de recuperar y manejar áreas degradadas por la compactación y erosión del suelo a lo largo del sendero.

**Palabras clave:** Senderos. Procesos erosivos. Degradación del suelo.

## INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um processo associado ao declínio de sua produtividade e qualidade devido a efeitos ambientais negativos originado por atividades antrópicas, que alteram suas características físico-químicas e biológicas e provocam efeitos ambientais deletérios, como os processos erosivos (hídricos ou eólicos), a compactação, a perda de nutrientes e/ou matéria orgânica do solo, a salinização, desertificação, acidificação, os movimentos de massa e etc (GUERRA *et al.*, 2017; POESEN, 2018; BOARDMAN *et al.*, 2021; GOLUBOVIĆ *et al.*, 2022).

Este componente do sistema físico da Terra, que presta inúmeros serviços ecossistêmicos, é finito em extensão e não é renovável ao longo da escala de tempo humana (décadas). Logo, ações voltadas a preservação e conservação da qualidade do solo, assim como aquelas que visem recuperar e evitar a sua degradação, são fundamentais e de suma importância para a existência e a manutenção da vida no planeta (BAER; BIRGÉ, 2018; POESEN, 2018; PANAGOS *et al.*, 2020).

Os processos erosivos hídricos, que consistem na desagregação, transporte e deposição do solo pela ação da água, especialmente em regiões úmidas com índices pluviométricos elevados (HOLZ *et al.*, 2015; GUERRA *et al.*, 2017; LAL; STEWART, 2018), tem na remoção da cobertura vegetal e no uso e o manejo do solo, através de construções civis, atividades agropecuárias sem a adoção de práticas conservacionistas e na abertura e no uso intensivo de trilhas, algumas das principais ações humanas que desencadeiam a sua ocorrência (GUERRA *et al.*, 2017; BORRELLI *et al.*, 2020; QUINE; VAN OOST, 2020; DRAGOVICH; BAJPAI, 2022).

O uso e o pisoteio intensivo do solo em trilhas de uso público, por exemplo, alteram as características físico-químicas e biológicas do solo, alterando sua dinâmica hidráulica e edáfica, os teores de matéria orgânica, os valores de porosidade e densidade, assim como as taxas de infiltração de água e do volume do escoamento superficial (*runoff*), que por sua vez, afetam sua susceptibilidade perante a ocorrência de processos erosivos hídricos (RANGEL *et al.*, 2019; FIGUEIREDO; MARTINS, 2021; DRAGOVICH; BAJPAI, 2022; GIRÁLDEZ *et al.*, 2022; PEREIRA *et al.*, 2022).

Como estas trilhas apresentam altas demanda de uso por proporcionaram oportunidades de lazer e recreação para pessoas que buscam estas finalidades em contato direto com o ambiente natural, se tornam ambientes recorrente destes processos de degradação do solo (MANNING *et al.*, 2017; LEUNG *et al.*, 2018; WARD-PERKINS *et al.*, 2020). Portanto, considerando que estas áreas são palco para o tráfego de milhares de pessoas, sejam elas em áreas rurais ou urbanas, a definição de seu planejamento, trajeto e a sua construção, deve considerar as condições mínimas necessárias para otimizar a eficiência de seu manejo, bem como para suportar os possíveis impactos ambientais que o seu uso provoca (WOLF *et al.*, 2019; FIGUEIREDO; MARTINS, 2021; DRAGOVICH; BAJPAI, 2022; PEREIRA *et al.*, 2022).

Logo, as trilhas devem ser planejadas, monitoradas e manejadas visando potencializar a conservação ambiental e a redução de impactos negativos sobre o ambiente biofísico, especialmente sobre os solos. Caso contrário, se forem planejadas e construídas

inadequadamente, as trilhas se tornam vulneráveis a impactos e processos de degradação, principalmente se possuírem elevada demanda de uso, darem acesso a atrativos de grande apelo turístico, estiverem localizadas em centros urbanos ou não serem resguardadas por Unidades de Conservação (UC's) (RANGEL *et al.*, 2019; WOLF *et al.*, 2019; MEADAMA *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2022).

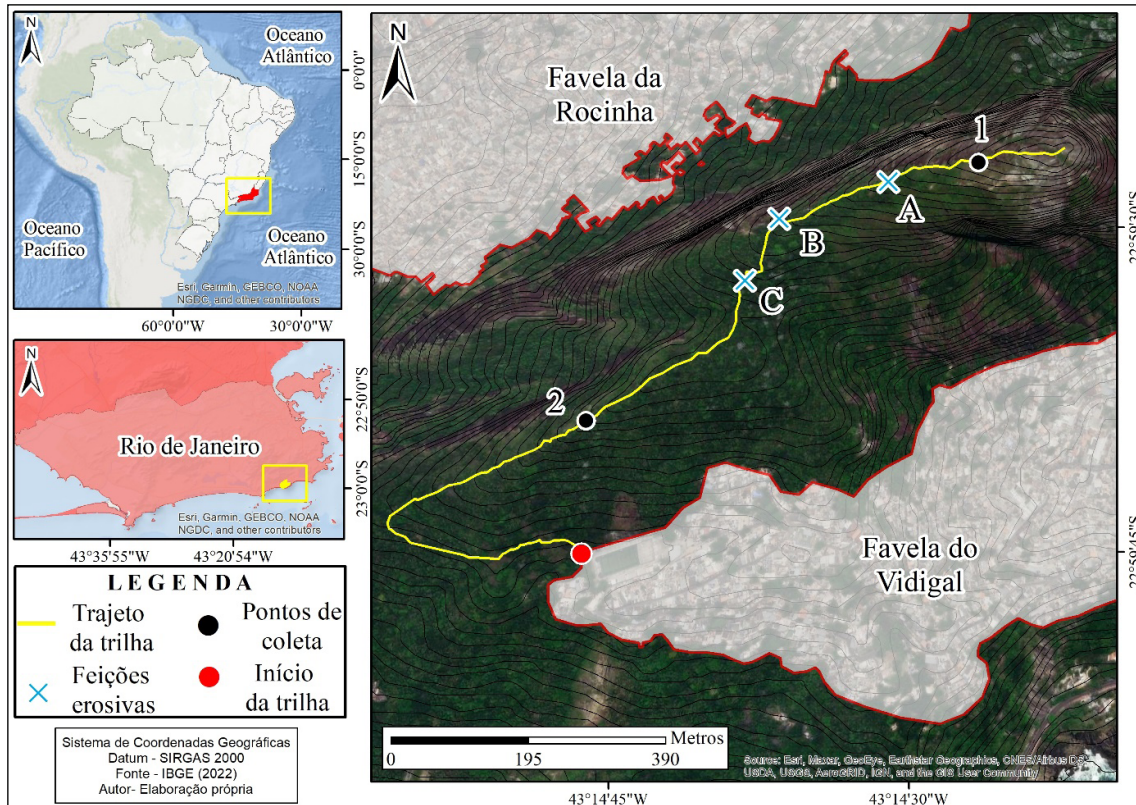
Neste contexto se encontra a área de estudo desta pesquisa: a Trilha do Morro Dois Irmãos, no município do Rio de Janeiro. Esta trilha, localizada entre duas favelas da zona sul desta cidade (Rocinha e Vidigal), não integra nenhuma Unidade de Conservação (UC), apesar de ser uma Área de Proteção Ambiental e uma das trilhas mais requisitadas pelos turistas que visitam a cidade, pois possui paisagens exuberantes de diferentes bairros da capital fluminense (Leblon, Ipanema, Rocinha e São Conrado etc.). Logo, a ausência de planejamento e de fiscalização, associado ao fluxo intenso de turistas que a visitam diariamente, tornam esta trilha altamente vulnerável à impactos ambientais negativos e a processos de degradação ambiental (MCALLISTER; CRONIN, 2016; MIRANDA; FORTUNATO, 2016).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo identificar e analisar os efeitos do pisoteio de pessoas ao longo da trilha do Morro Dois Irmãos, através da avaliação espacial da qualidade do solo em dois pontos com feições erosivas desenvolvidas em seu trajeto, isto é, do levantamento de características físicas e químicas do solo amostrados no leito e nas borda desta trilha, podendo então, poder auxiliar e subsidiar a gestão e o planejamento ambiental local em ações que visem a recuperação de áreas degradadas e o ordenamento da atividade ecoturística na localidade.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

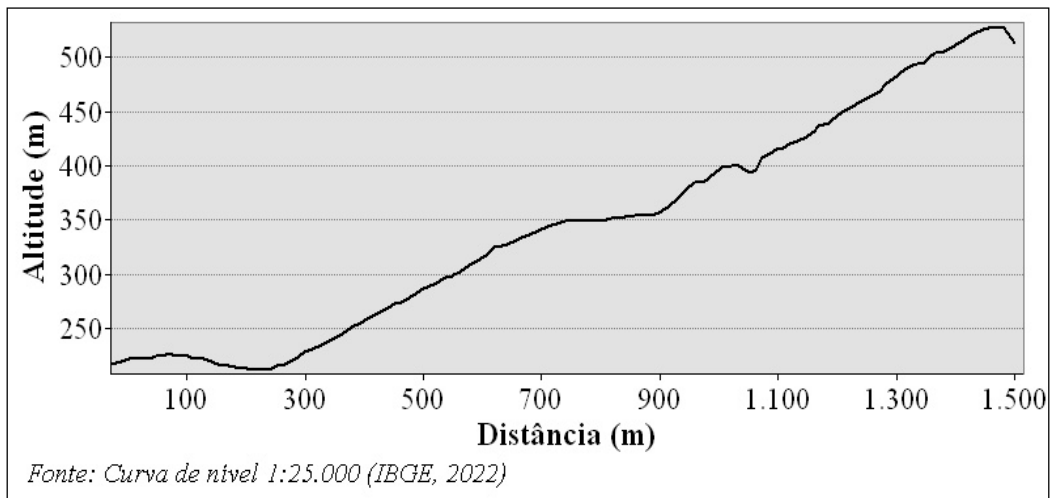
A Trilha do Morro Dois Irmãos, na Favela do Vidigal, compõe o compartimento geomorfológico do Maciço da Tijuca, que é uma unidade fisiográfica localizada dentro do sítio urbano da cidade do Rio de Janeiro, na região sudeste do Brasil (Figura 1).



Fonte: Elaboração: LIMA (2022).

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

Localizada na zona sul desta cidade, o início da trilha ocorre no topo da Favela do Vidigal, na Vila Olímpica do Vidigal ( $22^{\circ}59'44.35''S$  e  $43^{\circ}14'45.85''O$ ). A trilha possui aproximadamente 1.400 metros, uma declividade de média de aproximadamente 23,5%, além de cotas altimétricas entre 230 e 540 metros (Figura 2).



Fonte: IBGE (2022).

**Figura 2.** Perfil Topográfico da Trilha do Morro Dois Irmãos.



Esta trilha, por possuir atrativos turísticos que tem um grande apelo de visitação ao longo de seu trajeto, isto é, um mirante que permite vislumbrar a Favela da Rocinha e outro em seu trecho final, no pico do Morro Dois Irmãos, que permite a contemplação numa só paisagem vários bairros da capital fluminense (Figura 3), é altamente passível de degradação ambiental, como os processos erosivos, apesar da existência do manejo realizado pela comunidade local na porção inicial da trilha através da construção de escadas e degraus (Figura 4).



Fonte: Foto do autor (2022).

**Figura 3.** Paisagem ao final do trajeto da Trilha do Morro Dois Irmãos.



Fonte: Fotos do autor (2022).

**Figura 4.** Ponto manejado (Esquerda) e área degradada por processo erosivo hídrico na Trilha do Morro Dois Irmãos (Direita).

O clima da área do Maciço da Tijuca é classificado como tropical de altitude, com temperaturas diárias máximas no verão e mínimas no inverno (COELHO NETTO, 1985; KAMINO *et al.*, 2019). As temperaturas mínimas ocorrem em altitudes elevadas e áreas com mais cobertura florestal, e as máximas em altitudes menores e com menos florestas (COELHO NETTO, 1985; KAMINO *et al.*, 2019). Ainda, devido ao seu relevo funcionar como um anteparo aos ventos úmidos oriundos do Oceano Atlântico, especialmente para as suas vertentes voltadas para o oceano (sul), as encostas voltadas para o continente (norte) são mais secas e quentes (KAMINO *et al.*, 2019).

As precipitações ocorrem durante todo o ano, apesar da estação seca ser entre maio e agosto, e no verão, as chuvas se intensificarem e muitas vezes atingem valores máximos, devido à frente polar atlântica (COELHO NETTO, 1985; KAMINO *et al.*, 2019). Estas precipitações, associadas às elevadas declividades das vertentes deste maciço, intensificam o volume e a velocidade do escoamento e, por sua vez, favorecem a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.

O Maciço da Tijuca é um remanescente do *horst* limítrofe da borda sul do gráben da Guanabara, que se encontra geologicamente na porção central da Faixa Móvel Ribeira, isto é, uma entidade geotectônica neoproterozóica cuja formação remonta a orogênese Brasileira/Pan-africana (560 milhões de anos) durante a amalgamação do supercontinente Gondwana (Ciclo brasileiro) (HASUI *et al.*, 2012; GARRIDO, 2021). Este terreno metamórfico de alto grau é composto por litologias distintas: ortognaisses; sequências metassedimentares; e rochas granitóides intrusivas, que por sua vez, são constituídos gnaisses facoidais, biotita gnaiss, kinzigito, ortognaiss (gnaiss Archer) e granitos, sendo este último predominante no substrato da trilha (VALERIANO *et al.*, 2012; HEILBRON *et al.*, 2016).

Sobre os solos do Maciço da Tijuca, estes são típicos de região montanhosa tropical úmida, com o domínio de processos de formação sobre materiais colúviais que já sofreram intensa lixiviação. Tais processos geram o domínio de latossolos com perfis profundos e horizontes pedológicos pouco diferenciados, além de Neossolos Litólicos e Cambissolos, sendo estes últimos associados a materiais *in situ* pouco espessos e a uma transição pedogenética com os Neossolos Litólicos e os latossolos (ROSAS, 1991; COELHO NETTO, 1992; LUMBRERAS; GOMES, 2004). Por outro lado, a declividade acentuada e o relevo serrano auxiliaram na formação de solos rasos, sendo os Argissolos e os afloramentos rochosos aqueles que predominam na área de estudo.

## **METODOLOGIA**

As propriedades do solo determinadas para inferir na sua qualidade (granulometria, porosidade, densidade do solo, pH e teor de matéria orgânica) foram selecionadas por apresentarem relação com a erodibilidade e com o uso e manejo do solo, sendo esta última influenciada e/ou modificada pela visitação desordenada e intensa, ocasionada pelo fluxo de turistas em que as trilhas estudadas nesta pesquisa são submetidas.



As amostras de solos foram coletadas em profundidades entre 0 e 20 cm, e em pontos estratégicos ao longo da Trilha do Morro Dois Irmãos (Figura 5), isto é, em áreas degradadas com processos de ravinamento significativos. A escolha desta trilha foi definida pelo fato de receber diariamente inúmeros visitantes, já que permite o acesso a um dos principais cartões postais da zona sul do Rio de Janeiro: o cume do Morro Dois Irmãos. Já as profundidades se justificam por serem estes os limites que mais sofrem com o impacto do pisoteio ocasionado pelos visitantes ao longo da trilha.



Fonte: Fotos do autor (2022).

**Figura 5.** Ponto de coleta de amostras de solo (Esquerda: Ponto 1; Direita: Ponto 2).

Para avaliar o impacto do pisoteio das pessoas e comparar a qualidade do solo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas solo na área da trilha que sofre pisoteio e na área de borda, onde não há pisoteio.

Todas as análises dos parâmetros físico-químicos associados a qualidade do solo foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Os parâmetros físico-químicos foram obtidos conforme os métodos de Teixeira *et al.*, (2017), ou seja, a textura pela dispersão total das partículas individuais do solo (método da pipeta); o teor de matéria orgânica pelo método indireto (oxidação); a densidade do solo pela coleta de amostras indeformadas num cilindro de volume conhecido; a densidade dos minerais via balão volumétrico e álcool etílico; a porosidade pela relação com os valores de densidade; e o pH com um medidor digital.



A determinação da textura se deu com o destorroamento, peneiramento e mistura das amostras de solo com hidróxido de sódio e água destilada (TEIXEIRA *et al.*, 2017), enquanto a classificação se baseou no triângulo textural do *United States Department of Agriculture* (USDA, 2022). A matéria orgânica foi obtida com a mistura das amostras de solo com dicromato de potássio, sulfato de prata, ácido ortofosfórico, difenilamina e sulfato ferroso amoniacal (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Já a densidade do solo foi obtida com a coleta em um cilindro com volume conhecido (100 cm<sup>3</sup>), enquanto densidade de partículas se deu com a mistura das amostras com álcool etílico (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Por fim, a porosidade foi determinada através da razão entre a densidade de partículas (g/cm<sup>3</sup>) e a densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>), enquanto o pH foi obtido com a dissolução do solo em água destilada e a sua respectiva leitura após a calibração do equipamento (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Cada parâmetro físico-químico foi obtido em triplicata, isto é, em cada ponto estudado nas trilhas foram realizadas três repetições de coleta, sendo então, os resultados apresentados referentes às médias destas triplicatas. Além destas médias, também foram calculados os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação, a fim de obter inferência das variações estatísticas de cada resultado, através do software Microsoft Excel. Já as bases cartográficas que auxiliaram na compreensão espacial e no alcance dos objetivos do artigo foram elaboradas em ambiente de Sistema de Informação Geográfico (SIG), via do software ArcGIS 10.3.

## RESULTADOS

Analisando os valores referentes aos atributos físicos e químicos do solo, é possível identificar que os valores obtidos apresentaram variações espaciais distintas, já que alguns apresentaram valores superiores e/ou inferiores conforme a localização da obtenção das amostras de solo na trilha, isto é, se as amostras de solo coletadas estavam posicionadas no leito ou na borda da trilha (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores dos atributos físicos e químicos do solo obtidos na Trilha do Morro Dois Irmãos.

Trilha do Morro Dois Irmãos	Posição na trilha	Arranjo dos poros		Granulometria (%)					Análises químicas	
		Porosidade Total (%)	Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila	Classificação textural	pH	Matéria Orgânica (%)
Ponto 1	Leito	41	1,6	10	37	35	17	Franco	4,7	0,5
	Borda	50	1,3	10	33	34	23	Franco	4,2	1,6
Ponto 2	Leito	43	1,6	19	49	25	7	Franco arenoso	4,6	0,4
	Borda	58	1,1	13	35	34	18	Franco	4,4	1,6
Média	Leito	42	1,6	15	43	30	12	-	4,7	0,4
	Borda	54	1,2	11	34	34	21	-	4,3	1,6
Desvio Padrão	Leito	1	0,0	5	6	5	5	-	0,1	0,0
	Borda	4	0,1	2	1	0	2	-	0,1	0,0

A porosidade total (%) e matéria orgânica (%), por exemplo, foram menores no leito da trilha em comparação com as amostras de solo obtidas nas bordas da trilha (Tabela 1), independentemente do ponto amostrado. Por outro lado, os valores de densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ ) e de pH foram maiores nos solos do leito da trilha, ante aquelas amostras de solos obtidos nas bordas das trilhas, independentemente do ponto amostrado (Tabela 1).

Os solos amostrados no leito da trilha do ponto 1, por exemplo, apresentaram valores de porosidade total (%) e matéria orgânica (%) de 40,7 % e 0,5 %, respectivamente, enquanto aqueles obtidos na borda apresentaram valores de 50% e 1,6%, respectivamente. Nas amostras de solo obtidas no ponto 2 este padrão se mantém, com valores de porosidade total (%) e matéria orgânica (%) no leito da trilha de 42,9% e 0,4%, e de 57,7 % e 1,6% nas amostras de solo da borda (Tabela 1).

Já os valores de densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ ) e pH apresentaram comportamento inverso, já que em ambos os pontos da trilha os parâmetros dos solos obtidos no leito da trilha foram maiores do que aquelas amostras de solos obtidas nas bordas. No ponto 1, por exemplo, a densidade do solo no leito da trilha foi 1,6 ( $\text{g/cm}^3$ ) e o pH 4,7, enquanto que no solo obtido na borda deste ponto os valores foram de 1,3 ( $\text{g/cm}^3$ ) e 4,2, respectivamente (Tabela 1). No ponto 2 este padrão se manteve, com o valor de densidade do solo e de pH das amostras de solos obtidas no leito da trilha iguais a 1,6 ( $\text{g/cm}^3$ ) 4,6, respectivamente, enquanto nos solos obtidos na sua borda os valores foram de 1,1( $\text{g/cm}^3$ ) e 4,4, respectivamente (Tabela 1).

Em relação aos valores de granulometria, nota-se na Tabela 1 que os solos dos pontos amostrados são predominantemente arenosos, pois os solos de todos os pontos, independentemente de terem sido obtidos no leito ou na borda da trilha, apresentam a fração de areia correspondendo a mais de 1/3 da composição granulométrica total das amostras.

Ainda, apesar da Tabela 1 indicar que a maioria dos solos apresentam classificação textural do tipo franca, é possível identificar uma superioridade quantitativa das frações de areia na composição granulométrica dos solos em todos os pontos amostrados, assim como uma relação entre os maiores valores desta fração e aqueles solos obtidos no leito da trilha, haja vista que, apesar da fração de areia integrar mais de 1/3 da composição granulométrica das amostras, os solos do leito da trilhas possuem os maiores valores das frações de areia.

O solo obtido no leito do ponto 2, por exemplo, apresentou a maior quantidade da fração granulométrica de areia em sua composição (68%), enquanto que o solo obtido na borda da trilha do ponto 1, apesar de ter apresentado a menor composição de areia ante as demais amostras (43%), apresentou valor superior a 1/3 da composição granulométrica total.

Por outro lado, a Tabela 1 indica que as frações granulométricas de silte representam, em média, cerca de 30% da composição total do solo, sejam eles nas bordas ou no leito da trilha, enquanto as frações de argila são as menos predominantes, sejam eles nas bordas ou no leito da trilha. Reforça este comportamento o fato de somente o solo do leito da trilha no ponto 2 apresentar quantidade de silte inferior a 30%, e somente o solo da borda da trilha no ponto 1 quantidade de argila maior que 20% de sua composição total. Entretanto, ambas frações predominaram nos solos das bordas ante os solos do leito da trilha (Tabela1).

## DISCUSSÃO

O comportamento espacial dos valores dos atributos físico-químicos dos solos que foram obtidos no leito e nas bordas da Trilha do Morro Dois Irmãos, podem estar associados ao uso e cobertura do solo, e ao fluxo constante de pessoas que a utilizam para diversos fins, o que, conseqüentemente, afeta a dinâmica interna e externa do solo e, por sua vez, a maior ou menor susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos hídricos.

O fato dos maiores valores de porosidade total (%) e matéria orgânica (%) terem sido obtidos nas amostras de solos das bordas desta trilha, e os menores nas amostras localizadas em seu leito, podem resultar ação da cobertura vegetal e do pisoteio intensivo de pessoas, já que a ausência de vegetação e fluxo constante de pessoas no leito da trilha tendem a favorecer a redução da porosidade do solo e dos teores de matéria orgânica. Por outro lado, a maior presença de cobertura vegetal e o baixo pisoteamento do solo nas bordas da trilha, tendem a fazer com que estes solos tenham valores maiores de porosidade e matéria orgânica.

Além de incrementar matéria orgânica no solo, a cobertura vegetal aumente a sua porosidade devido à ação mecânica das raízes, que, ao se desenvolverem durante o seu processo de crescimento e retração, reorientam o material sólido do solo e aumentam o tamanho dos espaços vazios em seu interior, isto é, a quantidade de espaços preenchidos por ar e água, que conseqüentemente, aumenta o volume de água que infiltra no solo interior do solo e reduz o volume do *runoff* (GUERRA *et al.*, 2017; IGWE *et al.*, 2017; TOTSCHE *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2019).

Ainda, como a matéria orgânica do solo é composta predominantemente por resíduos vegetais e animais, há maior disposição de nutrientes para o desenvolvimento da fauna edáfica, que auxiliada pelos agentes ligantes orgânicos e inorgânicos que são excretados pelas raízes das plantas, aumentam a atividade microbiana no interior do solo e, conseqüentemente, acentuam a permeabilidade, à aeração e os espaços vazios no interior do solo (porosidade) (KER *et al.*, 2015; GOULD *et al.*, 2016; GUERRA *et al.*, 2017; IGWE *et al.*, 2017; GMACH *et al.*, 2020).

Ao contrário dos solos da borda da trilha, aqueles localizados em seu leito raramente apresentam cobertura vegetal e, ainda, são pisoteados diariamente devido ao fluxo constante de pessoas que percorrem a trilha, o que, conseqüentemente, reduzem os valores de porosidade. Logo, tanto a quase inexistência ou ausência de cobertura vegetal no leito da trilha, que reduz os teores de matéria orgânica, quanto o fato do leito ser o local por onde circulam centenas de pessoas diariamente de forma intensa e desordenada, compactando seu solo devido ao pisoteamento, fazem com que os valores de porosidade e de matéria orgânica sejam maiores nos solos da borda da trilha e menores nos solos de seu leito (Tabela 1).

Ainda, como a porosidade do solo possui relação inversamente proporcional com a sua densidade, pois, ao aumentar esta última a primeira tende a reduzir (HOLZ *et al.*, 2015; KER *et al.*, 2015; GUERRA *et al.*, 2017; HORN *et al.*, 2017; RANGEL *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2022), o fato do leito da trilha ser palco diário para o pisoteio intensivo de pessoas também contribui para que os solos deste ponto sejam pouco porosos e muito

compactados, isto é, apresentem valores baixos de porosidade e altos de densidade do solo ante aqueles obtidos nas bordas da trilha, que ao contrário, possuem valores menores de densidade e maiores de porosidade (Tabela 1).

Ainda, contribui para este comportamento o fato de a densidade do solo aumentar com a redução da matéria orgânica e com o selamento do solo gerado pelo impacto das gotas da chuva. Portanto, além dos solos do leito da trilha apresentarem valores elevados de densidade pelo pisoteamento de pessoas, a ausência de cobertura vegetal também contribui para este fato, já que, além de não adicionar matéria orgânica nos solos, estes ficam desprotegidos perante o impacto da energia cinética das gotas da chuva, pois a vegetação intercepta e reduz este impacto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2017; IGWE *et al.*, 2017). Logo, os solos do leito da trilha também apresentam valores de densidade maiores pela ausência de cobertura vegetal e matéria orgânica.

Este comportamento permite inferir que os solos do leito da trilha são mais susceptíveis a erosão ante os solos da borda pela baixa porosidade, pelos baixos teores de matéria orgânica e pelos elevados valores de densidade, enquanto que os solos da borda, ao contrário, apresentem valores máximos de porosidade e matéria orgânica, e mínimos de densidade do solo, seja pelo baixo pisoteio e/ou pela proteção oferecida pela vegetação.

A porosidade do solo, por controlar a percolação e a infiltração da água, faz com que solos porosos (borda da trilha) tenham altas taxas de infiltração e baixos volumes de *runoff*, ou seja, tenham menor erodibilidade ante solos pouco porosos (leito da trilha), que por sua vez, tendem a apresentarem maiores volumes de escoamento superficial (*runoff*) e menores taxas de infiltração de água em seu interior (HOLZ *et al.*, 2015; KER *et al.*, 2015).

Já solos com baixos teores de matéria orgânica (leito da trilha) apresentam maior erodibilidade ante aqueles com mais matéria orgânica (borda da trilha), pois, além da redução deste teor elevar a instabilidade dos agregados, facilitar a ruptura de suas partículas ante a erosão por *splash*, favorecer a formação de crostas na camada superficial do solo, reduzir a infiltração e aumentar o volume do *runoff*, ela também favorece a compactação do solo (KER *et al.*, 2015; GUERRA *et al.*, 2017; FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; OBALUM *et al.*, 2017; TOTSCHKE *et al.*, 2017).

Esta compactação, indicada pela densidade do solo, aumenta com o pisoteio de pessoas e com o impacto das gotas da chuva ocasionado pela ausência de cobertura vegetal (leito da trilha), que ao desagregarem e selarem a camada superficial do solo, reduzem a infiltração, elevam o *runoff* e a erosão do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2017; GIRÁLDEZ *et al.*, 2022). Por outro lado, quando os solos não são e/ou sofrem pouco pisoteamento, e são protegidos pela cobertura vegetal (borda da trilha), os valores de densidade tendem a serem mínimos e os solos pouco erodíveis.

Este comportamento permite inferir que os solos do leito da trilha são mais susceptíveis à erosão ante os solos da borda pela baixa porosidade, pelos baixos teores de matéria orgânica e pelos elevados valores de densidade, enquanto os solos da borda,



ao contrário, apresentem valores maiores de porosidade e matéria orgânica, e menores de densidade do solo, seja pelo baixo pisoteio e/ou pela proteção oferecida pela vegetação.

A porosidade do solo, por controlar a percolação e a infiltração da água, faz com que solos porosos (borda da trilha) tenham altas taxas infiltração e baixos volume de *runoff*, ou seja, tenham menor erodibilidade ante solos pouco porosos (leito da trilha), que por sua vez, tendem a apresentar maiores volumes de escoamento superficial (*runoff*) e menores taxas de infiltração de água (HOLZ *et al.*, 2015; KER *et al.*, 2015; ZABRODSKY *et al.*, 2021).

Já solos com baixos teores de matéria orgânica (leito da trilha) apresentam maior erodibilidade, ante aqueles com mais matéria orgânica (borda da trilha), pois, além da redução deste teor elevar a instabilidade dos agregados do solo, facilitar a ruptura de suas partículas ante a erosão por *splash*, favorecer a formação de crostas na sua camada superficial, reduzir a infiltração e aumentar o volume do *runoff*, ela também favorece a sua compactação (GUERRA *et al.*, 2017; OBALUM *et al.*, 2017; TOTSCHKE *et al.*, 2017; ALAOUI *et al.*, 2018; RANGEL *et al.*, 2019).

Esta compactação, indicada pela densidade do solo, tende a aumentar com o pisoteio de pessoas e com o impacto das gotas da chuva, ocasionado pela ausência de cobertura vegetal (leito da trilha), que ao desagregarem e selarem a camada superficial do solo, reduzem a infiltração, elevam o *runoff* e a ocorrência de processos erosivos (FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2017). Por outro lado, quando os solos não são e/ou sofrem pouco pisoteamento, e são protegidos pela cobertura vegetal (borda da trilha), os valores de densidade tendem a serem menores e os solos com menor erodibilidade.

Sobre o pH, apesar de todos os valores apresentaram caráter ácido ( $\text{pH} < 7$ ), os maiores foram obtidos no leito da trilha e os menores nas bordas, sendo tal comportamento, possivelmente associado a influência da vegetação e da matéria orgânica, já que a presença ou ausência de cobertura vegetal afeta este parâmetro.

Nos solos das bordas das trilhas, por exemplo, a existência de vegetação e de teores maiores de matéria orgânica podem estar associadas ao fato das plantas excretarem substâncias pelas raízes ou por processos de decomposição e, por sua vez, promoverem uma maior acidificação do solo em comparação com aqueles obtidos no leito da trilha. Nestes últimos, por sua vez, a ausência de cobertura vegetal e materiais a serem decompostos, assim como os baixos teores de matéria orgânica, podem favorecer a ocorrência de valores máximos de pH (KER *et al.*, 2015; MATSUMOTO *et al.*, 2018; WILPISZESKI *et al.*, 2019).

Ainda, por serem ácidos, estes solos tendem a possuir complexos coloidais deficientes em elementos químicos que lhe conferem estabilidade, como o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), que por sua vez, reduz a erodibilidade do solo e aumenta a resistência ao cisalhamento de suas partículas pois, além de auxiliar na retenção de carbono, na formação, cimentação e na estabilidade dos agregados, se combina ao húmus da matéria orgânica, aumentando sua estabilidade (KER *et al.*, 2015; MATSUMOTO *et al.*, 2018; WILPISZESKI *et al.*, 2019).

Entretanto, mesmo sendo mais ácidos, os solos obtidos nas bordas da trilha tendem a ser menos erodíveis por serem mais porosos, menos compactados, protegidos pela vegetação e apresentarem teores máximos de matéria orgânica. Por outro lado, os solos

do leito da trilha, ao contrário, apesar de possuírem valores máximos de pH, apresentam maior erodibilidade por sofrerem com o pisoteamento intensivo de pessoas, que por sua vez, provoca a sua compactação e o aumento dos valores de densidade, por possuir pouca cobertura vegetal, valores mínimos de porosidade e baixos teores de matéria orgânica.

Sobre a granulometria e a classificação textural dos solos obtidos nos pontos amostrados, que por sua vez, foram classificados predominantemente com textura franca, exceto no solo do leito da trilha no ponto 2, que apresentou uma classificação textural franco-arenosa, nota-se que houve o predomínio de frações de areia, principalmente areia grossa.

Esta fração granulométrica, apesar de possuir baixa erodibilidade, devido ao tamanho do seu diâmetro, peso de sua massa física e rápida velocidade de decantação de suas partículas, que por sua vez, dificultam sua remoção e transporte pela ação da água, tornam os solos susceptíveis à erosão, quando associadas a frações de silte (0,002 – 0,05 mm) e areia fina (0,2 - 0,05 mm), especialmente solos com pouca frações de argila (< 0,0002 mm) e matéria orgânica (HOLZ *et al.*, 2015; KER *et al.*, 2015; NGUYEN *et al.*, 2016; GUERRA *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2022).

Logo, como os solos do leito das trilhas são constituídos, em média, por 58% de areia (43% areia grossa e 15% areia fina), 30% de silte e apenas 12% de argila, e os solos das bordas por 45% de areia (34% areia grossa e 11% areia fina), 34% de silte e 21% de areia, infere-se que os primeiros solos também são mais susceptíveis aos processos erosivos, devido a sua composição granulométrica, isto é, pelas elevadas quantidades de frações de areia e baixas quantidades de frações argila.

Essa inferência é reforçada mais ainda se consideramos também que os valores de matéria orgânica são mínimos no leito da trilha e máximos em sua borda (Tabela 1), isto é, que os solos no leito da trilha, além de possuírem elevadas quantidades de areia e baixas quantidades de argila, possuem valores mínimos matéria orgânica em comparação com os solos amostrados nas bordas da trilha.

Isto porque, a matéria orgânica afeta a integridade estrutural do solo, a formação de agregados estáveis, a aeração, a atividade microbiana e a permeabilidade, que por sua vez, reduzem a formação de crostas na camada superficial do solo, aumentam a infiltração e a resistência do solo à erosão por *splash* (FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2017; YAVITT *et al.*, 2021). Logo, os solos do leito da trilha são mais propensos à erosão não só pelos seus valores de porosidade, densidade, granulometria e pH, mas também pelos seus teores de matéria orgânica (OBALUM *et al.*, 2017; TOTSCHKE *et al.*, 2017; YAVITT *et al.*, 2021).

Ainda, considerando que no solo do leito da trilha, o conteúdo de matéria orgânica é baixo e as partículas sólidas são menos favoráveis à formação de agregados (baixos valores de argila e altos valores de areia grossa), a densidade do solo tende a ser maior em comparação com aqueles solos de textura fina, como nos solos das bordas, que por sua vez, possuem maiores quantidades frações de argila e, conseqüentemente, tendem a apresentar valores mínimos de densidade do solo devido a organização dentro e entre seus grânulos porosos, bem como valores máximos de porosidade ante os solos do leito da trilha.

Neste sentido, apesar do solo das bordas apresentarem, em geral, texturas mais finas ante os solos do leito da trilha, estes, além de não estarem sujeito ao pisoteamento intensivo, ocasionado pelo fluxo de pessoas, também contêm os maiores valores de matéria orgânica, que além de aumentar a porosidade, reduz a compactação e os valores de densidade do solo (KER *et al.*, 2015; HORN *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2017; YAVITT *et al.*, 2021).

Sendo assim, a ausência de pisoteio, que tende a não compactar e reduzir a densidade do solo, associada ao fato dos solos da borda da trilha apresentarem os maiores teores de matéria orgânica e os maiores valores de porosidade, fazem com que eles sejam menos susceptíveis à erosão ante aqueles obtidos no leito da trilha, que, apesar de possuir os maiores valores de pH, são constantemente compactados devido ao pisoteamento intensivo, ou seja, apresentam valores máximos de densidade do solo, além de porcentagens máximas de frações de areia e mínimas silte, baixos teores de matéria orgânica e valores mínimos de porosidade.

Portanto, a leitura individual ou conjunta destes atributos físico-químicos permite associa-los com o desenvolvimento das inúmeras feições erosivas que estão distribuídas ao longo da Trilha do Morro Dois Irmãos (Figura 6), e não apenas aquelas feições onde foram obtidas as amostras de solo (Figura 5), já que, além do contexto apresentado da área de estudo, tanto pelas características do solo como do fluxo de pessoas, evidenciam que a área é altamente propensa a ocorrência destas feições.



Fonte: Fotos do autor (2022).

**Figura 6.** Feições erosivas no trajeto da Trilha do Morro Dois Irmãos  
(Esquerda: ponto A; Meio: ponto B; Direita: ponto C).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os aspectos apresentados, conclui-se que o fluxo de pessoas que percorrem a Trilha do Morro Dois Irmãos, associado aos atributos físico-químicos do solo, favorecem a degradação do solo na localidade, através de sua compactação e do desencadeamento de processos erosivos. Logo, destaca-se a necessidade de buscar alternativas por parte do poder público e da população local para tal atividade, assim como a elaboração e a prática de ações estratégicas voltadas para melhorar a qualidade do solo e a recuperação das áreas degradadas ao longo desta trilha.

Entre os fatores que acarretam a degradação do solo, a perda de sua qualidade e o desencadeamento dos processos erosivos ao longo desta trilha, destaca-se o pisoteamento intensivo, a textura do solo, a ausência de cobertura e do poder público na gestão da trilha.

Neste sentido, os valores de densidade e porosidade do solo, por exemplo, indicam uma relação direta com o pisoteamento ocasionado pelo fluxo de pessoas, e pela ausência de cobertura vegetal (matéria orgânica). Tais características, associada com as composições granulométricas ricas em frações arenosas e pobres em argilas, assim como com a ausência de um controle eficiente da gestão acerca da visitação turística na localidade, condicionam a formação de inúmeras feições erosivas ao longo da trilha, como evidência nas ilustrações do trabalho, que foram obtidas durante a visita de campo realizada para a coleta das amostras de solo.

Destaca-se como algumas medidas mitigadoras e para a recuperação destas áreas degradadas pelos processos erosivos e compactação do solo na trilha, a incorporação de matéria orgânica em seu leito, um controle efetivo diário acerca da visitação turística, assim como a realização de intervenções diretas de manejo em seu trajeto, como por exemplo, a construção de degraus e escadas nestas áreas para não apenas reduzir o fluxo e a velocidade do escoamento superficial (*runoff*), que por sua vez, favorece o desencadeamento de feições erosivas, mas também, para reduzir o risco de acidentes as inúmeras pessoas que à visitam.

Por fim, o levantamento e o monitoramento dos atributos físico-químicos do solo desta pesquisa são importantes por poder nortear e subsidiar ações voltadas ao planejamento e à gestão de trilhas, em especial aquelas com intenso fluxo de turistas, pois, através da análise de seus valores, é possível identificar fragilidades ou potencialidades que possam vir a aumentar ou atenuar a degradação do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALAOUI, A.; ROGGER, M.; PETH, S.; BLÖSCHL, G. Does soil compaction increase floods? A review. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 557, p. 631-642, 2018.
- BAER, S. G.; BIRGÉ, H. E. Soil ecosystem services: an overview. **Managing Soil Health for Sustainable Agriculture Volume 1**, [S.L.], p.17-38, 2018.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2017.
- BOARDMAN, J.; POESEN, J.; EVANS, M. Slopes: soil erosion. **Geological Society, London, Memoirs**, [S.L.], v. 58, p. 1-15, 2021.



- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 117, n. 36, p. 21994-22001, 2020.
- COELHO NETTO, A. L. **Surface hidrology and soil erosion in a tropical rainforest drainage basin, Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa Pós-Graduação em Geografia, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 1985.
- COELHO NETTO, A. L. O geoeossistema da Floresta da Tijuca. In: ABREU, M. A. **Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Biblioteca Carioca/IPLANRIO, 1992. p.104 -142.
- DRAGOVICH, D.; BAJPAI, S. Managing Tourism and Environment - Trail Erosion, Thresholds of Potential Concern and Limits of Acceptable Change. **Sustainability**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 4291-4307, 2022.
- FERNÁNDEZ-RAGA, M.; PALENCIA, C.; KEESSTRA, S.; JORDÁN, A.; FRAILE, R.; ANGULO-MARTÍNEZ, M.; CERDÀ, A. Splash erosion: a review with unanswered questions. **Earth-Science Reviews**, v. 171, p. 463-477, 2017.
- FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, J. V. A. Erosão em trilhas e sua relação com o turismo em áreas protegidas: uma breve discussão. In: SUTIL, T.; LADWIG, N. I.; SILVA, J. G. S. **Turismo em áreas protegidas**. Criciúma: UNESC, 2021. p. 173-195.
- GARRIDO, T. V. Características geológicas e petrográficas da Pedra da Gávea e Pedra Bonita, Rio de Janeiro. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, vol. 5, p. 1-12, 2021.
- GIRÁLDEZ, J.V.; CASTRO-ORGAZ, O.; GÓMEZ, J.A.; LAGUNA, A.M. Rainfall and erosion/sediment transport. In: MORBIDELLI, R. **Rainfall: Modeling, Measurement and Applications**. [S.L.]: Elsevier, 2022, p. 397- 426.
- GMACH, M. R.; CHERUBIN, R.; KAISER, K.; CERRI, C. E. P. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 3, p.1-10, 2020.
- GOLUBOVIĆ, T. D. Environmental Consequences of Soil Erosion. In: MILUTINOVIĆ, S.; ŽIVKOVIĆ, S. **Advances in Environmental Engineering and Green Technologies**. [s.l.]: IGI Global, 2022, p. 112–131.
- GOULD, I. J.; QUINTON, J. N.; WEIGELT, A.; DEYN, G. B.; BARDGETT, R. D. Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. **Ecology Letters**, [s.l.], v. 19, n. 9, p.1140-1149, 2016.
- GUERRA, A. J. T.; FULLEN, A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope processes, mass movements and soil erosion: a review. **Pedosphere**, v. 27, p. 27-41, 2017.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R., ALMEIDA, F.F. M.; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca Editora, 2012.
- HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Escala 1:400.000.
- HOLZ, D. J.; WILLIARD, K. W.J.; EDWARDS, P. J.; SCHOONOVER, J. E. J. Soil

- Erosion in Humid Regions: A Review. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 154, n. 1, p.48-59, 2015.
- HORN, R.; FLEIGE, H.; ZIMMERMANN, I.; PENG, X. Soil physical compaction and erosion as a threat to food production and human health. In: SINGH, B. R.; MCLAUGHLIN, M. J.; BREVIK, E. C. **The Nexus of Soils, Plants, Animals and Human Health**. Stuttgart: Schweizerbart Science Publisher, 2017, p. 42 - 49.
- IGWE, P.U.; EZEUKWU, J.C.; EDOKA, N.E.; EJIE, O.C.; IFI, G.I. A Review of Vegetation Cover as a Natural Factor to Soil Erosion. **International Journal of Rural Development, Environment and Health Research**, v. 1, n. 4, p.21-28, 2017.
- KAMINO, L. H. Y.; REZENDE, E. A.; SANTOS, L. J. C.; FELIPPE, M. F.; ASSIS, W. L. Atlantic Tropical Brazil. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS L. J. C.; PAISANI, J. C. **The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape**, New York: Springer, 2019. p. 41-74.
- KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 343 p.
- LAL, R.; STEWART, B. A. **Soil and Climate**. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- LEUNG, Y. F.; SPENCELEY, A.; HVENEGAARD, G.; BUCKLEY, R. **Tourism and visitor management in protected areas: Guidelines for sustainability**. Gland: IUCN, 2018.
- LUMBRERAS, J. F.; GOMES, J. B. V. **Mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento ambiental do município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.
- MANNING, R.; ANDERSON, L.; PETTINGILL, P. **Managing Outdoor Recreation: Case Studies in the National Parks**. Cambridge: CABI, 2017.
- MATSUMOTO, S.; OGATA, S.; SHIMADA, H.; SASAOKA, T.; HAMANAKA, A.; KUSUMA, G. J. Effects of pH-Induced Changes in Soil Physical Characteristics on the Development of Soil Water Erosion. **Geosciences**, v. 8, n. 4, p.134-147, 2018.
- MEADEMA, F.; MARION, J. L.; ARREDONDO, J.; WIMPEY, J. The influence of layout on Appalachian Trail soil loss, widening, and muddiness: implications for sustainable trail design and management. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 257, p. 109986 - 109996, 2020.
- MCALLISTER, N.; CRONIN, S. **Aumento de turismo da trilha Dois Irmãos suscitam preocupação no Vidigal**. Rio de Janeiro: Rioonwatch, 2016. Disponível em:<<http://rioonwatch.org.br/?p=21937>>. Acesso em:04/07/2022.
- MIRANDA, I.; FORTUNATO, A. R. O turismo sobre o morro do Vidigal (Rio de Janeiro, Brasil): uma análise exploratória. **Turismo & Sociedade**. Curitiba, v. 9, n. 2, p. 1-20, 2016.
- NGUYEN, V. B.; NGUYEN, Q. B.; ZHANG, Y. W.; LIM, C. Y. H.; KHOO, B. C. Effect of particle size on erosion characteristics. **Wear**, v. 348-349, p.126-137, 2016.
- OBALUM, S. E.; CHIBUIKE, G.U.; PETH, S.; OUYANG, Y. Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 189, n.4, p.1-19, 2017.

- PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; POESEN, J.; LUGATO, E.; SCARPA, S.; MONTANARELLA, L.; BORRELLI, P. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 1365-1386, 2020.
- PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; BOOTH, C. A.; FULLEN, M. A. Detrimental effects of tourist trails on soil system dynamics in Ubatuba Municipality, São Paulo State, Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 216, p. 1-15, 2022.
- POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: research needs. **Earth Surface Processes And Landforms**, v. 43, n. 1, p. 64-84, 2018.
- QUINE, T. A.; VAN OOST, K. Insights into the future of soil erosion. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 38, p. 23205 - 23207, 2020.
- RANGEL, L. A.; JORGE, M. C.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Soil Erosion and Land Degradation on Trail Systems in Mountainous Areas: Two Case Studies from South-East Brazil. **Soil Systems**, v. 3, n. 3, p. 56-70, 2019.
- ROSAS, R. **Formação de Solos em Ambiente Florestado, Maciço da Tijuca, RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 574p.
- TOTSCHKE, K. U.; AMELUNG, W.; GERZABEK, M. H.; GUGGENBERGER, G.; KLUMPP, E.; KNIEF, C.; LEHNDORFF, E.; MIKUTTA, R.; PETH, S.; PRECHTEL, A.; RAY, N.; KOGEL-KNABNER, I. Microaggregates in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s.l.], v. 181, n. 1, p.104-136, 2017.
- USDA (United States Department of Agriculture). **Soil Texture Calculator**. Disponível em: <[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)>. Acesso em 07/07/2022.
- VALERIANO, C. M.; JUNIOR, R. P.; ALMEIDA, J.; SILVE, L. G. E.; DUARTE, B.; SCHMITT, R.; VALLADARES, C.; NOGUEIRA, J. R.; RAGATKY, C. D.; GERALDS, M.; VALENTE, S. MANSUR, K. L. **Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2012.
- WARD-PERKINS, D.; BECKMANN, C.; ELLIS, J. **Tourism routes and trails: theory and practice**. Boston: CABI, 2020.
- WILPISZESKI, R. L.; AUFRECHT, J. A.; RETTERER, S. T.; SULLIVAN, M. B.; GRAHAM, D. E.; PIERCE, E. M.; ZABLOCKI, O. D.; PALUMBO, A. V.; ELIAS, D. A. Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 85, n. 14, p.1-18, 2019.
- WOLF, I. D.; CROFT, D. B.; GREEN, R. J. Nature Conservation and Nature-Based Tourism: a paradox?. **Environments**, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 104-126, 2019.
- YAVITT, J. B.; PIPES, G. T.; OLMOS, E. C.; ZHANG, J.; SHAPLEIGH, J. P. Soil

Organic Matter, Soil Structure, and Bacterial Community Structure in a Post-Agricultural Landscape. **Frontiers In Earth Science**, [S.L.], v. 9, p. 1-15, 2021.

ZABRODSKYI, A.; SARAUSKIS, E.; KUKHARETS, S.; JUOSTAS, A.; VASILIAUSKAS, G.; ANDRIULIS, A. Analysis of the Impact of Soil Compaction on the Environment and Agricultural Economic Losses in Lithuania and Ukraine. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 14, p. 7762-7777, 2021.

ZHANG, B. J.; ZHANG, G. H.; YANG, H. Y.; WANG, H. Soil resistance to flowing water erosion of seven typical plant communities on steep gully slopes on the Loess Plateau of China. **Catena**, [S.L.], v. 173, p. 375-383, 2019.