



THOMAZ TASSINARI

**HIDROLOGIA E SOLOS DA SERRA FINA:
RESPOSTA DA VAZÃO DE CURSOS D'ÁGUA A
EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO E INFLUÊNCIA
DA VISITAÇÃO EM ATRIBUTOS
FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO**

LAVRAS-MG

2019

THOMAZ TASSINARI

**HIDROLOGIA E SOLOS DA SERRA FINA: RESPOSTA DA VAZÃO DE
CURSOS D'ÁGUA A EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO E INFLUÊNCIA
DA VISITAÇÃO EM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Hidrologia e Saneamento ambiental, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Gilberto Coelho

LAVRAS-MG

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Tassinari, Thomaz.

Hidrologia e Solos da Serra Fina: Resposta da Vazão de Cursos
D'Água a Eventos de Precipitação e Influência da Visitação em
Atributos Físico-Hídricos do Solo / Thomaz Tassinari. - 2019.
84 p. : il.

Orientador(a): Gilberto Coelho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.
Bibliografia.

1. Hidrologia. 2. Ciência do Solo. 3. Ecologia da Recreação. I.
Coelho, Gilberto. II. Título.

THOMAZ TASSINARI

**HIDROLOGIA E SOLOS DA SERRA FINA: RESPOSTA DA VAZÃO DE
CURSOS D'ÁGUA A EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO E INFLUÊNCIA
DA VISITAÇÃO EM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Hidrologia e Saneamento ambiental, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 08 de março de 2019.

Dr. Daniel Brasil Ferreira Pinto	UFJVM
Dr. Bruno Montoani da Silva	UFLA
Dra. Lívia Alves Alvarenga	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Viola	UFLA

Dr. Gilberto Coelho
Orientador

LAVRAS - MG

2019

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Luiz Fernando Tassinari (*in memoriam*), pelo incentivo e apoio que me permitiram seguir estudando e me aprimorando como recurso humano a serviço da sociedade e do meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

- À Capes, pela bolsa de estudos que viabilizou a condução desta obra.
- Ao amigo, Professor Gilberto Coelho, pela orientação, amizade e pelo companheirismo durante as atividades desenvolvidas.
- Aos membros da banca examinadora, Professores Bruno Montoani, Daniel Brasil, Marcelo Viola e Lívia Alvarenga, pelo tempo despendido e pelas contribuições indispensáveis para a qualidade do trabalho final.
- Ao meu irmão, Diego Tassinari, pela grande ajuda, tanto no campo quanto no escritório, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao Instituto Alto Montana, através do amigo Paulo Pêgas, pela gerência em favor da pesquisa, receptividade e pelo apoio logístico fundamentais para a conclusão deste trabalho.
- Aos gestores da Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira e da Floresta Nacional de Passa Quatro e ao Instituto Chico Mendes de Preservação da Biodiversidade, por permitirem a condução deste estudo, em ambas as unidades, dentro da legalidade.
- Ao amigo Renato Antônio, pela disposição no trabalho de coletas e pela boa prosa durante os longos dias de montanhismo.
- À minha companheira Laura Mira Dias, pelo apoio e pela paciência ao longo da carreira acadêmica que levou a este trabalho de tese.
- Ao meu filho Luiz Fernando, pela compreensão em relação aos períodos de ausência que este trabalho demandou.
- Ao meu pai Luiz Fernando Tassinari (*in memoriam*), pelo incentivo e apoio fundamentais para a continuidade de meus estudos e formação acadêmica.
- À minha mãe Eunice, pelo apoio e bons cuidados para com seu neto durante as viagens para Itamonte.

Meus sinceros agradecimentos!

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ALOS	<i>Advanced Land Observation Satellite</i>
APASM	Área de preservação ambiental da Serra da Mantiqueira
cm ³ .cm ⁻³	Centímetro cúbico de água (ou poros) por centímetro cúbico de solo;
cmol _c dm ⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico de solo;
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica;
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FLONA	Floresta Nacional de Passa Quatro;
GIS	Geographic Information System
g.kg ⁻¹	Gramas (de constituinte) por quilograma de solo;
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;
JAROS	<i>Japan Resources Observation Systems Organization;</i>
JAXA	Agência de Exploração Aeroespacial do Japão;
mg.dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico;
mm	Milímetro;
MRVBF	Multi Resolution Valley Bottom Flatness;
MRRTF	Multi Resolution Ridge Top Flatness;
PC	<i>Principal Components</i>
PCA	Análise de Componentes Principais;
pH	Potencial Hidrogeniônico;
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural;
RPPNIAM – RPPN	Instituto Alto Montana;
SAGA	System for Automated Geographic Analysis;
SB	Soma de Bases;
SIG	Sistemas de Informações Geográficas;
UC	Unidade de Conservação;
θ	Declividade em graus;
λ	Comprimento da rampa (m);

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	9
1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
	REFERÊNCIAS.....	18
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	21
	ARTIGO 1	21
	TRILHAS TURÍSTICAS DA SERRA FINA E DA FLORESTA NACIONAL DE PASSA QUATRO: CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS E AMBIENTES	
	ARTIGO 2	45
	INFLUÊNCIA DA VISITAÇÃO EM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DOS SOLOS DE DUAS VERTENTES DA SERRA DA MANTIQUEIRA	
	ARTIGO 3	67
	ASPECTOS DO ESCOAMENTO EM BACIA HIDROGRÁFICA NAS PORÇÕES ELEVADAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA	

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As montanhas ao redor do planeta são importantes reservas de recursos hídricos, florestais e minerais, além de abrigar grande biodiversidade. Locais montanhosos em todo mundo têm sofrido as consequências de ações antrópicas como desmatamento, captação irregular de água, e visitação desordenada. Muitas dessas ações podem levar a distúrbios na conservação do solo e dos recursos hídricos que são percebidos, em grande parte dos casos, subjetivamente, sem dados concretos que quantifiquem a profundidade e real natureza dessas alterações.

A Serra da Mantiqueira, inserida no bioma Mata Atlântica, é um importante *hotspot* da biodiversidade mundial, apresentando ainda grande importância hidrológica. Essa formação é a barreira mais alta encontrada pela umidade advinda do Oceano Atlântico que adentra o continente na Região Sudeste do Brasil, o que favorece a precipitação devido ao efeito orográfico. A umidade que atravessa a Serra do Mar e o Vale do Paraíba resfria-se ao se elevar nas vertentes mais altas da Serra, ocasionando significativa precipitação no local. A cobertura de Mata Atlântica, além dos complexos rupestres de altitude, comum nas porções mais elevadas, favorece a infiltração da água, contribuindo para a manutenção da perenidade dos recursos hídricos da região, responsáveis pelo abastecimento de algumas das maiores cidades do país.

A Serra Fina, uma das porções mais altas da Serra da Mantiqueira, separada do Planalto do Itatiaia pelo vale da Garganta do Registro, tem experimentado relevante aumento no fluxo de visitantes, principalmente após aferição dos pontos culminantes do Brasil revelar que a Pedra da Mina, (2798 m de altitude) é mais alta que o Pico das Agulhas Negras, que até então era considerado o quarto pico mais alto do Brasil. Milhares de visitantes, durante a estação compreendida entre abril e

setembro, percorrem a tradicional Trilha da Serra Fina, que liga os municípios de Passa Quatro e Itamonte, ambos no estado de Minas Gerais. A trilha é, normalmente, percorrida em 3 ou 4 dias pelos turistas, que contribuem com a economia do local, sendo o ecoturismo uma importante fonte de renda para guias de montanha, restaurantes, pousadas e outros estabelecimentos. Embora o ecoturismo seja considerado uma forma de economia de baixo impacto ambiental, é evidente que as trilhas são vetores de propagação de desequilíbrios.

No processo de exploração do ecoturismo como atividade geradora de renda e desenvolvimento social, impactos ambientais acabam, invariavelmente, sendo ocasionados ao meio. Os impactos oriundos do trânsito e permanência de turistas em ambientes naturais, quando se tornam severos e incômodos, em geral são mitigados por meio de restrições de uso ou fechamento de áreas à visitação, o que pode levar ao decaimento da atividade econômica sobre a qual se estrutura uma importante parcela da população do local. Sendo assim, monitoramentos dos impactos ambientais decorrentes da visitação, bem como a implantação de técnicas de manejo conservacionistas contribuem para a longevidade da atividade em harmonia com o meio, além de proporcionar conforto e acessibilidade aos visitantes.

Durante o desenvolvimento do presente trabalho foram realizadas parcerias com empreendedores locais visando à estruturação dos trechos mais sensíveis do Maciço da Serra Fina, com o conhecimento e a participação dos gestores da Área de Preservação da Serra da Mantiqueira (APASM) e da Floresta Nacional de Passa Quatro (FLONA), unidades de conservação (UCs) em que estão inseridas áreas da formação geológica em questão. Diversas técnicas de manejo conservacionista, como escadas de madeira, pontes, cordas e valetas de drenagem foram empregadas em trechos mais declivosos sujeitos à erosão, bem como nos locais mais úmidos por onde a trilha passa. A instalação desses dispositivos foi viabilizada por meio de parcerias público-privadas, firmadas entre empresas que atuam com ecoturismo, principalmente organizadoras de evento de corrida em trilhas, e o Instituto Chico

Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão a que estão vinculadas as UCs envolvidas.

A quantificação dos evidentes impactos do trânsito pedestre, sempre foi uma demanda dos gestores e da comunidade de montanhistas do local. Esse assunto polêmico já foi alvo de diversas discussões entre empresários envolvidos com eventos esportivos, ambientalistas, gestores e turistas, sempre baseadas em especulações, em função da ausência de estudos sérios que pudessem gerar informações de qualidade para serem utilizadas com ferramentas de gestão. Essa falta de informações serviu como motivação para a realização do presente trabalho.

Sendo o Maciço da Serra Fina um local remoto e de difícil acesso às porções mais elevadas, especialmente durante o período chuvoso, a condução da pesquisa enfrentou uma série de obstáculos como grandes distâncias a serem percorridas, ventos fortes, granizo, temperaturas negativas, peso e dimensões do equipamento de amostragem e distância do local de origem da equipe.

A elaboração desta tese foi viabilizada pelo apoio logístico e operacional da RPPN Instituto Alto Montana da Serra Fina, localizado em Itamonte, MG. Essa unidade de conservação de proteção integral está inserida no território da APASM e é responsável pela preservação de 672 ha de Mata Atlântica com elevado gradiente de altitude, com elevado grau de endemismo de espécies, além de possuir importância extremamente relevante na conservação dos recursos hídricos que abastecem as diversas atividades econômicas desenvolvidas na região.

Objetivou-se por meio deste trabalho quantificar o impacto do pisoteio pedestre em atributos físico-hídricos do solo em duas unidades de conservação federais; proceder a um monitoramento hidrológico na Bacia do Rio Pinhão Assado durante os anos de 2017 e 2018 e classificar tipos de solo encontrados nos locais de estudo analisando a ocorrência dos diferentes tipos à luz de atributos de terreno obtidos com ferramentas de geoprocessamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A pesquisa em unidades de conservação (UCs) e outras áreas protegidas fornece ferramentas que auxiliam a gestão, dando sustentação às tomadas de decisão inerentes a cada unidade. Gestores de UCs, que estão sujeitas ao aumento do fluxo de visitantes, devem estar cientes que o trânsito de pedestres ou ciclistas propaga uma série de impactos negativos aos solos, recursos hídricos, fauna e flora (PICKERING; ROSSI; BARROS, 2011). Embora alguns países tenham grande quantidade de pesquisas a respeito dos impactos da visitação em unidades de conservação, no Brasil foram produzidos poucos trabalhos sobre o assunto (MAGRO; BARROS, 2004).

Devido à dimensão vertical das áreas montanhosas são criados gradientes de temperatura, precipitação e insolação. Uma única encosta pode incluir diversos sistemas climáticos e abrigar uma grande diversidade biológica, adaptada às diversas condições encontradas ao longo da vertente (THE UNITED NATIONS PROGRAMME OF ACTION -UNPA, 1992). As montanhas têm o importante papel de exibir mudanças físicas e biológicas de forma muito mais dinâmica do que é observado em outras entidades geográficas da superfície terrestre (BENISTON, 2003), embora Loarie et al. (2009) tenham observado que as mudanças de temperatura são menores em ambientes montanhosos devido à fatores topográficos. Isso faz com que esses locais sejam capazes de proteger a biodiversidade das mudanças climáticas por mais tempo que outros ambientes como alagados, manguezais e desertos (LOARIE et al., 2009).

Cerca de metade da população mundial é afetada de diversas maneiras pela degradação dos ambientes e das bacias hidrográficas de ambientes alto montanos, denominação instituída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (1994) para locais com altitudes acima dos 1500 m. Entretanto há uma falta de conhecimento acerca dos ecossistemas montanhosos. A criação de

um banco de dados mundial sobre as áreas de montanhas é vital para o desenvolvimento de iniciativas que contribuam com o desenvolvimento sustentável desses ambientes (UNPA, 1992).

A Serra da Mantiqueira desempenha um papel importante do regime de chuvas no Sudeste do Brasil, representando a mais alta barreira encontrada pelas frentes de ar polar advindas da região antártica. O ganho de altitude pelo ar úmido polar e a queda de temperatura que isso ocasiona provocam precipitação média anual de 2378 mm nas porções mais elevadas do Parque Nacional do Itatiaia, região vizinha da área de estudo, como é demonstrado na Figura 1. (BRASIL, 1982).

Pirastru, Castellini e Giadrossich (2013) comparando solos sob cobertura florestal com locais próximos que tiveram a cobertura de mata removida, encontraram teores mais baixos de matéria orgânica, menores umidades de saturação, que se referem ao volume de poros do solo, em locais sujeitos à influência antrópica. Todos os solos são formados basicamente por minerais, matéria orgânica, água, substâncias dissolvidas e ar. Entretanto, a distribuição desses componentes é muito variável de um local para o outro (HAMMIT; COLE; MONZ, 2015), mesmo com relativa proximidade geográfica.

A macroporosidade do solo é um importante indicador de degradação da estrutura do solo, tendo em vista sua forte relação com a compactação (). Representa a relação entre volume de poros drenados sob até 6 kPa de tensão e o volume de solo das amostras sendo expresso em centímetros cúbicos de água por centímetro cúbico de solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$). Os macroporos são espaços do solo em que a água retida sob menores tensões podem possuir origens morfológicas bem distintas. O conceito de macroporosidade também abrange canais, geralmente tubulares, formados pela fauna, como caminhos de formigas, cupins, minhocas, besouros e outros seres e por plantas. Concentram-se em torno da superfície e apresentam diâmetros muito variados. Podem também ter origem mineralógica,

sendo formados por rupturas na estrutura de argilas e agregados do solo submetidos ao intemperismo e ainda por galerias formadas pela erosão no escoamento subsuperficial (GERMANN; BEVEN, 1982). Solos sob a cobertura florestal possuem, portanto, elevada porosidade e condutividade hidráulica, transmitindo rapidamente o escoamento para zonas com maior impedimento hidráulico abaixo (BREN, 2016).

A condutividade hidráulica representa a capacidade de um meio poroso para transmitir um fluido. Aqui tratada como “ k_{sat} ”, a condutividade hidráulica do solo saturado representa a vazão de água por unidade de área de solo, sendo representado em unidade de comprimento sobre tempo (ex.: cm/min; m/h; ft/h; etc.). Essa propriedade do solo é uma variável aleatória espacial e varia de local para local ao longo do aquífero (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE, 2010), sendo essa variação ainda mais pronunciada em regiões de relevo acidentado como a área em que foi conduzido este estudo. Qualquer fator que possa afetar os tamanhos e as proporções dos poros de um solo influenciará diretamente a condutividade hidráulica (WEIL; BRADY, 2016).

Em bacias com coberturas heterogêneas, com diferentes estágios de pedogênese, os atributos físico-hídricos do solo podem ser muito variáveis. Assim, diferentes fisionomias dentro de uma bacia terão dinâmicas muito distintas no que se refere à resposta do solo aos esforços impostos pelo pisoteio e à infiltração da água de chuva. O uso recreativo de áreas montanhosas aumentou significativamente nas últimas décadas. Em áreas remotas, o acesso é feito por sistemas de trilhas que facilitam o deslocamento e concentram linearmente os danos ao meio ambiente, causados pela recreação (DELUCA et al., 1998). A natureza do uso recreativo e os impactos resultantes são altamente variáveis (COLE; MONZ, 2004), mas é certo que as atividades ao ar livre são fortemente dependentes dos recursos naturais disponíveis no local (HAMMIT; COLE; MONZ, 2015).

2.1 Ecologia da recreação

Estudos referentes à “ecologia da recreação”, nome dado à disciplina que engloba os impactos da visitação em ambientes naturais, são realizados desde o final da década de 1920 (MEINECKE, 1928; TAYLOR; HANSEN, 1934). O Serviço Americano de Parques Nacionais, ainda na década de 1940, publicou sobre o assunto, tornando mais conhecidos os problemas relacionados à visitação em unidades de conservação (UNITED STATES NATIONAL STATES PARK SERVICE - USNPS, 1941). Entretanto, somente a partir de 1960, esse assunto tomou a devida relevância com o aumento da procura por ambientes naturais minimamente impactados (WAGAR, 1964).

Somente nos anos 1970, estudos de monitoramento dos impactos da recreação em longo prazo começaram a ser implantados em unidades de conservação ao redor do mundo com trabalhos de grande repercussão conduzidos por Bayfield (1973), Cole (1978) e Liddle (1975). Bayfield (1973) e Liddle (1975) deram um foco especial aos impactos causados pelo trânsito pedestre na vegetação e estrutura do solo, em estudos conduzidos na Escócia, Austrália e Reino Unido. Cole (1978) direcionou especial atenção aos impactos ocasionados no entorno de áreas de acampamento. Ambas as áreas de estudo apresentam grande relevância e demandas por monitoramento nas trilhas da Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira. Essa unidade de conservação de uso sustentável engloba alguns dos principais destinos de montanhismo do Brasil e não possui controle de entrada nem estrutura básica de saneamento para os visitantes. Entre esses destinos, destacamos a tradicional Trilha da Serra Fina, percorrido geralmente em 3 ou 4 dias pelos visitantes que acampam e fazem suas necessidades em locais sem estrutura mínima e, muitas vezes, sem cuidado algum para destinar seus resíduos. Em locais remotos, impossibilitados de receber infraestrutura adequada, os impactos associados ao

pernoite em áreas de *camping* são criticamente importantes devido à falta de saneamento e gestão de resíduos (COLE, 1978; MANNING et al., 1996).

2.2 Hidrologia

Um axioma da hidrologia dita que a água que entra na bacia hidrográfica e a água que sai formam um balanço hídrico. Além disso, em qualquer período de tempo, a água que entra na bacia é igual a água que sai mais a variação de armazenamento de água na bacia. O cuidadoso monitoramento dos processos de movimento da água na bacia por um período de tempo permite o que é chamado de “fechar o balanço hídrico”, que tem sido o objetivo de hidrologistas até recentemente. Isso é possível geograficamente assumindo-se a premissa de que os limites da bacia hidrográfica coincidem com os limites da superfície terrestre, tendo em vista a atual impossibilidade de testar essa hipótese (BREN et al., 2016).

Elevadas taxas de condensação ocorrem quando a atmosfera está saturada, os ventos brandos e a vegetação apresentam grande superfície foliar exposta. Essa combinação de condições ocorre de forma proeminente em florestas nebulares tropicais de montanha, em que a interceptação da neblina conduzida pelo vento pode representar um incremento de até 20% da lâmina precipitada. A interceptação da chuva ou neblina pelo dossel da floresta é a primeira interação entre a precipitação e o sistema solo-planta. A partir daí a água seguirá obrigatoriamente quatro caminhos: evaporação, condensação, escoamento ou queda. Florestas nebulares tropicais de montanha são tipicamente encontradas em locais úmidos, com constante neblina e sujeitos à ventos frequentes. Estão entre os locais mais valiosos do planeta do ponto de vista da riqueza de espécies e graus de endemismo. Essas formações ainda fornecem um suprimento constante de água de alta qualidade, com menor dependência de eventos de chuvas diretas (BRUINJEEL; SCATENA, 2010).

Em meados do século XIX que a comunidade científica passou a armazenar e computar dados hidrológicos, principalmente da leitura periódica de níveis de grandes rios. A partir daí começou-se a perceber a forte relação entre lâmina de precipitação e a vazão dos corpos hídricos. Isso levou ao primeiro estudo em bacia hidrográfica, realizado na Suíça, em que comparou-se a resposta hidrológica de duas bacias com áreas semelhantes, porém com usos e ocupação bem distintas. De maneira geral os resultados mostraram uma moderada atenuação da cobertura florestal nas vazões máximas, bem como um atraso do período de recessão, presumindo um armazenamento mais eficiente da água (BREN et al., 2016).

Elevadas capacidades de infiltração associadas a solos muito porosos próximos à superfície em relevos acidentados criam condições que favorecem o escoamento subsuperficial (TORRES et al., 1998), que somado ao escoamento superficial em alguns eventos de chuva, podem levar a cheias repentinas, surgindo a necessidade de monitoramentos. A compreensão da dinâmica de vazões dos corpos hídricos que podem subsidiar ações benéficas ao meio ambiente e às comunidades, além de evitar desastres.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **Standard guideline for the geostatistical estimation and blockaveraging of homogeneous and isotropic saturated hydraulic conductivity**. Reston, 2010. 30 p.
- BAYFIELD, N. G. Use and deterioration of some Scottish hill paths. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 10, p. 639-648, 1973.
- BENISTON, M. Climatic Change in Mountain Regions: a review of possible impacts. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 59, p. 1-2, July 2003.
- BREN, L. et al. An introduction to forest hydrology. In: AMATYA, D. **Forest hydrology: processes, management and assessment**. Strasbourg: CABI, 2016.
- BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 25, p. 319-326, 2010.
- COLE, D. N. Estimating the susceptibility of wildland vegetation to trailside alteration. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 15, p. 281-286, 1978.
- COLE, D. N.; MONZ, C. A. Spatial patterns of recreation impact on experimental campsites. **Journal of Environmental Management**, London, v. 70, n. 1, p. 73-84, 2004.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 12, de 4 de maio de 1994**. Aprova o glossário de termos técnicos elaborado pela câmara técnica temporária para assuntos da Mata Atlântica. Disponível em: <<https://documentacao.socioambiental.org/documentos/13D00058.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2019.
- DELUCA, T. H. et al. Influence of llamas, horses, and hikers on soil erosion from established recreation trails in western Montana, USA. **Environmental Management**, New York, v. 22, n. 2, p. 255-262, 1998.
- GERMANN, P.; BEVEN, K. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, Washington, v. 18, p. 1311-1325, 1982.

HAMMIT, W. COLE, D. N.; MONZ, C. A. **Wildland recreation: ecology and management**. Hoboken: Wiley Blackwell, 2015.

LIDDLE, M. J. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. **Biological Conservation**, Essex, v. 7, p. 17-36, 1975.

LOARIE, S. R. et al. The velocity of climate change. **Nature**, London, v. 462, p. 1052-1055, 2009.

MAGRO, T. C.; BARROS, M. I. A. Understanding use and users at Itatiaia National Park, Brazil. In: BUCKLEY, B. (Ed.). **Environmental impacts of ecotourism**. Wallingford: CAB Internacional, 2004. 403 p.

MANNING, R. E. et al. Recreation management in natural areas: problems and practices, status and trends. **Natural Areas Journal**, Washington, v. 16, n. 2, p. 142-146, Apr. 1996.

MEINECKE, E. P. **The effect of excessive tourist travel on the California redwood parks**. Sacramento: California Department of Natural Resources, Division of Parks, 1928.

PICKERING, C. M.; ROSSI, S.; BARROS, A. Assessing the impacts of mountain biking and hiking on subalpine grassland in Australia using an experimental protocol. **Journal of Environmental Management**, London, v. 92, p. 3049-3057, 2011.

PIRASTRU, M.; CASTELLINI, F.; GIADROSSICH, M. N. Comparing the hydraulic properties of forested and grassed soils on an experimental hillslope in a Mediterranean environment. **Procedia Environmental Sciences**, Oxford, v. 19, p. 341-350, 2013.

TAYLOR, T. G.; HANSEN, W. L. **Public campground planning**. Berkeley: Utah Agricultural Experiment Station, 1934. 30 p.

THE UNITED NATIONS PROGRAMME OF ACTION (UNPA). **The final text of agreements negotiated by governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)**. Rio de Janeiro, 1992. 294 p.

TORRES, R. et al. Unsaturated zone processes and the hydrologic response of a steep, unchanneled catchment. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, p. 1865-1879, 1998.

UNITED STATES NATIONAL STATES PARK SERVICE (USNPS). **A study of the park and recreation problem in the United States**. Washington: Government Printing Office, 1941. 279 p.

WAGAR, J. A. The carrying capacity of wildlands for recreation. **Forest Science Monographs**, Oxford, v. 7, p. 1-23, 1964.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 15th ed. [S. l.]: Pearson Education, 2016.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

**TRILHAS TURÍSTICAS DA SERRA FINA E DA FLORESTA
NACIONAL DE PASSA QUATRO: CARACTERIZAÇÃO DE
SOLOS E AMBIENTES**

Autores: Thomaz Tassinari (DRS/UFLA), Gilberto Coelho (DRS/UFLA), Diego Tassinari (DCS/UFLA)

Revista *Árvore*

RESUMO

O Maciço da Serra Fina é uma formação geológica pertencente à Serra da Mantiqueira. Devido ao elevado gradiente de altitudes, são encontradas diferentes características ambientais com relativa proximidade geográfica. Foi conduzida uma classificação de solos amostrados em perfis abertos ao longo de trilhas em duas unidades de conservação federais para fornecer uma maior compreensão da pedologia ao longo das vertentes da serra. As avaliações em campo e as análises em laboratório levaram à classificação de Neossolo Litólico Húmico Típico, Organossolo Fólico, Neossolo Regolítico Distrófico Típico, Cambissolo Húmico Distrófico Latossólico e Cambissolo Háptico Tb Distrófico Úmbrico. Com uso de sistemas de informação geográfica e análise de componentes principais, a ocorrência das diferentes fisionomias edáficas foi discutida à luz dos atributos de terrenos obtidos no software SAGA GIS, que se mostrou adequado para subsidiando inferências sobre as relações entre pedogênese e geomorfologia da região.

Palavras-chave: Serra da Mantiqueira. Solos de altitude. Organossolo.

ABSTRACT

Serra Fina mountain range is a geologic formation that belongs to *Mantiqueira* Mountain Range. Due to the huge altitude gradient, a variety of ambiental characteristics are found with relative geographic proximity. Soils along two federal conservation units were sampled and analysed aiming its classification to provide a wider comprehension about the pedology along the mountain slopes. Field evaluations and laboratory analyzes led to the classification of the following soil types Neosol Lithoic Humic Typical, Follic Oganosol, Typical Distrophic Regolithc Neosol, Humic Cambisol, Dystrophic Latosol and Haplic Cambisol Tb Umbric Dystrophic. By SIG geoprocessing tools and a principal component analysis, the occurrence of different edaphic physiognomies were explained by terrain attributes obtained in SAGA GIS software, wich it has shown adequate for subsiding inferences about the relation between pedogenesis and geomorphology of the studied site.

Keywords: *Mantiqueira* Mountain Range. Soils of altitude. Organosol.

1 INTRODUÇÃO

A Serra da Mantiqueira, formação geológica que abrange os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, no Sudeste do Brasil, possui importância fundamental na conservação da biodiversidade e manutenção do suprimento de água em quantidade e qualidade adequadas para abastecer algumas das regiões mais densamente povoadas do país. O elevado gradiente de altitudes favorece a formação de diversos ambientes ao longo das vertentes, como função das interações entre fatores climáticos e edáficos. O efeito orográfico ocasiona abrupto resfriamento das massas de ar úmido vindas do Vale do Rio Paraíba do Sul e, como consequência provoca elevadas lâminas de precipitação na região, especialmente entre os meses de setembro e março.

A Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira, unidade de conservação federal subordinada ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) engloba 437.192,11 ha de áreas cobertas por fisionomias de Mata Atlântica, como as ombrófilas densa e mista, campos de altitude e afloramentos rochosos, que favorecem a infiltração da água, contribuindo para a manutenção da perenidade dos recursos hídricos da região (ICMBio and Detzel, 2018). A Floresta Nacional de Passa Quatro (ICMBio, 2009), instituída na década de 1940, se estende por 350 ha, apresentando áreas com florestas nativas preservadas além de cultivos de *Araucaria angustifolia*, *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* Ambas unidades de Conservação estão inseridas no Corredor Ecológico da Serra da Mantiqueira e integram o Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira, que protege e conecta importantes remanescentes do Bioma Mata Atlântica.

Para a compreensão da ocorrência dos tipos de solo ao longo das paisagens os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido utilizados há décadas, mas, até os anos 1990, mapas topográficos eram a única fonte de dados

quantitativos referentes à morfologia dos terrenos (Florinsky, 2012). Atualmente, a modelagem digital de terreno tem sido a área de pesquisa mais ativa entre as que se referem à aplicação de informação geoespacial. Com essas técnicas a superfície terrestre pode ser representada digitalmente com grande volume de pontos e informação, ao passo que as antigas técnicas utilizadas eram limitadas às tradicionais curvas de nível e ao simbolismo cartográfico (Zhou et al., 2008).

O sistema de informações geográficas *SAGA GIS* apresenta diversas ferramentas aplicáveis a Modelos Digitais de Terreno (MDE), com a possibilidade da realização processamentos em bateladas, com obtenção praticamente simultânea de diversos atributos de terreno (Kothe et al., 1996; Wilson and Gallant, 1997; Panagos et al., 2015) ponto a ponto, aos quais podem ser aplicadas análises estatísticas. Alguns destes atributos podem subsidiar mapeamentos preliminares de ocorrência de determinados tipos de solo e, conseqüentemente, a inferência acerca de níveis de fragilidade ambiental e interesse para conservação.

Neste levantamento teve-se como objetivo realizar uma caracterização dos solos amostrados ao longo de duas unidades de conservação federais, inseridas no Maciço da Serra Fina. Com a utilização de ferramentas de geoprocessamento. Procurou-se subsidiar os resultados da classificação dos solos com atributos de terreno obtidos nos pontos amostrais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na porção sul da Serra da Mantiqueira, próxima à fronteira dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Foram percorridas duas trilhas comumente utilizadas para práticas de ecoturismo e turismo de aventura: uma localizada no Maciço da Serra Fina, nos limites da Reserva do Patrimônio Natural Instituto Alto Montana (RPPNIAM), região com elevado valor para conservação, inserida na APASM (ICMbio and Detzel, 2018), e outra na Floresta Nacional de Passa Quatro (FLONA).

Ao longo das trilhas foram selecionados sete pontos representativos dos diversos ambientes observados em zonas com fisionomias vegetais e características edáficas homogêneas, evitando áreas de transição de paisagens. Seis amostras foram colhidas na Serra Fina e uma na FLONA. As coordenadas dos pontos amostrais encontram-se na Tabela 1.

Em cada ponto amostral foi escavada uma trincheira com largura de 0,5 m e profundidade variável em função da ocorrência de horizonte C ou contato lítico (0,24 a 1,15 m). Procedeu-se à divisão dos horizontes pedogenéticos, descrição expedita do perfil conforme Santos et al. (2013a) e coleta de amostras dos horizontes identificados. Posteriormente, procedeu-se à identificação dos horizontes diagnósticos e a classificação dos solos de acordo com Santos et al. (2013b).

As amostras coletadas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2,0 mm de abertura para uso nas análises de caracterização química e física, realizadas no Laboratório Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram determinados pH em água, complexo sortivo (teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, capacidade de troca de cátions efetiva e a pH 7,0, teor de carbono orgânico e textura (teores de argila, silte e areia) e teor de fósforo remanescente, de acordo com

metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Teixeira et al., 2017). Devido à metodologia analítica utilizada, os solos com teores de matéria orgânica acima dos 40 g.kg⁻¹ não foram analisados quanto à textura. Ainda foram calculados a soma de bases (SB) (Equação 1) e a saturação por bases (V) (Equação 2):

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$$

Eq. 1

$$V = 100 \times SB \div CTC$$

Eq. 2

Em que:

SB é a soma de bases (cmol_c dm⁻³);

Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ são as concentrações de cálcio, magnésio e potássio (cmol_c dm⁻³);

V é a saturação por bases (%);

CTC é a capacidade de troca catiônica (cmol_c dm⁻³)

Procedeu-se à análise de terreno a partir do modelo digital de elevação (MDE) ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 m. O MDE foi inicialmente processado para preenchimento de depressões (*fill sinks*) e a partir dessa correção foram obtidos os seguintes atributos de terreno no software SagaGIS (Kothe et al., 1996; Wilson and Gallant, 1997):

declividade (*Slope*): mede a taxa de mudança de elevação no sentido do declive mais acentuado;

curvatura plana (*Plan Curvature*): mede a taxa de variação da declividade no sentido da maior declividade ao longo de uma curva de nível;

curvatura no perfil (*Profile Curvature*): taxa de variação da declividade ao longo de uma linha de fluxo descendente;

índice de convergência (*Convergence Index*): usa valores de declividade ao longo de uma linha de fluxo descendente de células vizinhas para parametrizar a convergência do fluxo;

índice topográfico de umidade (*Topographic Wetness Index*): quantifica o papel da topografia na redistribuição da água na paisagem, sendo derivado da área de contribuição para cada célula e do mapa de declividades;

Fator-LS (*LS Factor*): fator declividade/comprimento de rampa, utilizado na Equação Universal de Perda de Solo para modelagem e previsão de áreas suscetíveis à erosão. O Fator LS é calculado pelo produto de um fator relacionado ao comprimento de rampa por outro relacionado à declividade. Os fatores L e S podem ser representados da seguinte maneira (Panagos et al., 2015) (Equação 3):

Fator L:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

Eq. 3

Em que:

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Onde:

$$\beta = \frac{\frac{\text{sen}\theta}{0,0896}}{[0,56 + 3 * (\text{sen}\theta)^{0,8}]}$$

Quando a declividade for maior ou igual a 0,09 m.m⁻¹.

Sendo:

λ : Comprimento da rampa (m);

m : 0,5 para declividades maiores que 0,05 m.m⁻¹;

0,4 para declividades entre 0,03 e 0,04 m.m⁻¹;

0,3 para declividades entre 0,01 e 0,03 m.m⁻¹;

0,2 para declividade menores que 0,01 m.m⁻¹;

θ : declividade em graus;

Fator S:

$$S = 10,8 * \text{sen}\theta + 0,3$$

Quando a declividade for menor que 0,09 m.m⁻¹ e:

$$S = 16,8 * \text{sen}\theta - 0,5$$

Quanto maior for o produto entre os fatores L e S, maior será a suscetibilidade do local à erosão.

Nível de base da rede de drenagem (*Channel Network Base Level*): parâmetro utilizado principalmente para predição da cota de ocorrência de solos hidromórficos, influenciados pela dinâmica hidrológica.

Profundidade de vale (*Valley Depth*): calculado por meio da subtração dos valores de elevação do terreno de um valor interpolado de altitude das cristas.

Distância vertical à rede de drenagem (*Altitude Above Channel Network*): utilizado, principalmente, na predição de enchentes e na estimativa da energia potencial ao longo do terreno. É a distância vertical em relação à rede de drenagem expressa em metros (Möller et al., 2012). Fornece um indicativo da dinâmica pedológica em cada ponto analisado, sendo que os valores mais baixos indicam maiores chances da ocorrência de solos hidromórficos com deposição de sedimentos, valores médios indicam zonas com processos de transferência de material e valores mais altos, áreas sujeitas à remoção de sedimentos devido aos processos erosivos (Prates et al., 2012).

Índices multirresolução de fundos de vales plano e topos de serra planos (*Multiresolution Valley Bottom Flatness (MRVBF) e Multi Resolution Ridge*

Top Flatness - MRRTF): concebido para identificar áreas planas em determinados intervalos entre cotas pré-estabelecidas.

Os atributos de terreno, assim obtidos, foram empregados em uma análise de componentes principais (PCA) para verificar a associação entre a ocorrência dos diferentes solos em função das características morfométricas, sendo a análise realizada no software RStudio (RStudioTeam, 2016).

Procedeu-se uma análise de componentes principais dos parâmetros químicos, relacionando-os com as classes de solo identificadas. Os dados de textura faltantes devido ao elevado teor de matéria orgânica, que impossibilitaram a análise textural (OX, RL1, RL2, RL3) foram imputados na PCA empregando-se o pacote "missMDA", sendo utilizados 8 componentes principais para estimativa dos dados faltantes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois locais estudados (Serra Fina e FLONA Passa Quatro) apresentam condições marcadamente distintas de paisagem. A altitude média na FLONA Passa Quatro é de 1099 m (amplitude de 940 a 1367 m), enquanto na Serra Fina, onde se encontra a maior parte dos perfis estudados, a altitude média é de 1990 m (amplitude de 1581 a 2523 m) (Tabela 1). As separações dos perfis de solo são representadas na Figura 1.

Figura 1 Perfis dos solos avaliados no presente trabalho, identificados de acordo com a Tabela 2. P1 a P6 estão localizados na Serra Fina e P7, na FLONA Passa Quatro.



Fonte: do autor.

Tabela 1 Classificação do solo, coordenadas geográficas e altitude dos perfis amostrados.

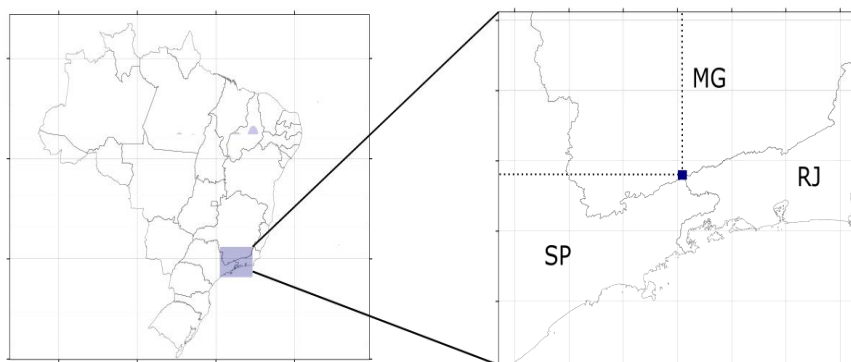
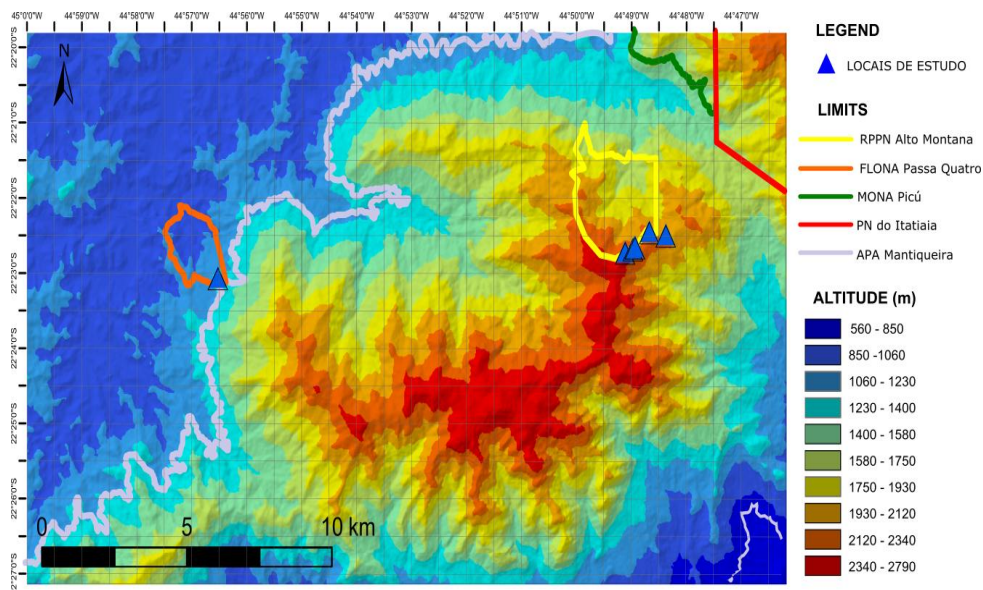
ID	Classificação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
P1	Neossolo Litólico Húmico típico	22,3878 S	44,7872 W	2400
P2	Organossolo Fólico	22,3870 S	44,7926 W	2319
P3	Neossolo Litólico Húmico típico	22,3906 S	44,7973 W	2285
P4	Neossolo Litólico Húmico típico	22,3919 S	44,8006 W	2237
P5	Neossolo Regolítico Distrófico típico	22,3912 S	44,7980 W	2130
P6	Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	22,3602 S	44,7978 W	1481
P7	Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico	22,3982 S	44,9360 W	1286

ID: identificação do perfil ao longo do texto.

Fonte: do autor.

Além da diferença de altitude, o relevo também é muito distinto: enquanto na FLONA Passa Quatro predominam os relevos forte ondulado e também ondulado (declividade média de 28%), na RPPN Altomontana os relevos, montanhoso e forte ondulado, são os mais comuns, com ocorrências de relevo escarpado (declividade média de 46%) (Figura 2).

Figura 2 Localização das áreas de estudo.



Dentro de cada um desses ambientes, as variações topográficas também estiveram associadas à ocorrência de diferentes classes de solo. Nos locais mais elevados (acima de 2000 m) e de relevo mais montanhoso predominaram Neossolos e Organossolo, enquanto nos locais mais baixos foram observados Cambissolos. Os perfis amostrados localizados acima de 2200 m de altitude apresentaram horizontes superficiais de cores bastante escuras (Figura 1),

perfazendo os critérios diagnósticos para horizontes hístico e A húmico (Santos et al., 2013b). Dessa forma, acima de 2200 m de altitude verificou-se a ocorrência de Organossolo Fólico (solo com ocorrência de eventos de saturação de água ao longo do ano), que contém horizonte hístico (teor de C orgânico acima de 8% - Tabela 2); e de Neossolos Litólicos Húmicos, quando o teor de C orgânico foi insuficiente para definição do horizonte hístico.

Os solos mais desenvolvidos observados foram Cambissolos, de textura argilosa a muito argilosa. Em ambos os Cambissolos foram observados teores elevados de C orgânico do solo (COS), acima de 30 g kg⁻¹. Contudo, o Cambissolo da FLONA Passa Quatro (P7) não atingiu o critério de teor de COS para definição de horizonte diagnóstico A húmico, de acordo com Santos et al. (2013b), permanecendo a classificação como Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico, sendo subgrupo (quarto nível categórico) devido à presença de horizonte diagnóstico A proeminente. Já o Cambissolo da Serra Fina (P6), devido à presença de horizonte A húmico foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico latossólico, sendo o subgrupo devido à característica de estrutura do horizonte diagnóstico Bi. Essa foi identificada como fraca em blocos subangulares que se desfazem em estrutura granular pequena, característica comum de Latossolos.

Os pontos P1, P2 e P3 mostram-se visualmente similares. Entretanto, o ponto P2 recebeu a classificação de organossolo, por apresentar horizonte hístico, cujo teor de carbono supera 80 g.kg⁻¹.

Tabela 2 Profundidade e teores de carbono orgânico (COS) dos perfis e horizontes avaliados e resultados da análise textural das amostras com menos de 40 g.kg⁻¹ de matéria orgânica.

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	COS (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Areia (g kg ⁻¹)
P1	A	0 a 24	51.6	-	-	-
P2	O	0 a 32	84.8	-	-	-
P3	A	0 a 32	71.3	-	-	-
P4	A	0 a 20	43.9	-	-	-
P5	A	0 a 11	30.9	220	310	470
P5	AC	11 a 20	12.1	190	310	500
P5	Cr	7 a 43	9.2	90	100	900
P5	C	33 a 67+	6.4	120	270	610
P6	A	0 a 10	31	600	230	170
P6	AB	10 a 29	20.6	620	230	150
P6	BA	29 a 46	14	660	230	110
P6	Bi	46 a 92	9.9	690	210	100
P6	BC	92 a 120+	3.2	210	330	460
P7	A1	0 a 12	33.7	510	220	270
P7	A2	12 a 16	21.7	530	180	290
P7	AB	16 a 23	18.3	510	170	320
P7	BA	23 a 38	11	510	180	310
P7	Bi	39 a 67	10	530	190	280
P7	BC	67 a 80+	8.1	570	240	190

Fonte: do autor.

A análise química (Tabela 3) indicou baixa fertilidade natural de todos os solos. A soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺) variou de 0,23 a 1,0 cmol_c dm⁻³, enquanto os teores de Al trocável (Al³⁺) foram sempre altos a muito altos, de acordo com os critérios de CFSEMG (1999). Valores baixos de pH predominaram, sendo observados também alguns valores muito baixos, inclusive abaixo de 4,0. Já a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 se mostrou com valores elevados, em especial nos horizontes hístico e A húmico.

Tabela 3 Caracterização química dos solos e horizontes avaliados.

Perfil	Horiz.	pH	K mg.dm ⁻³	Ca	Mg	----- (g kg ⁻¹)-----			T
						Al	H+Al	t	
P1	A	3.8	116.97	0.1	0.14	3.6	21.6	4.14	22.18
P2	O	3.2	68.21	0.1	0.11	2.2	16	2.53	16.41
P3	O	4.9	113.66	0.1	0.1	4.3	23.4	4.82	23.88
P4	A	4.5	129.65	0.43	0.24	6.8	38.6	7.75	39.56
P5	A	4.8	140.86	0.19	0.13	3.8	16.2	4.52	16.89
P5	AC	3.8	70.06	0.14	0.1	5.1	20.5	5.47	20.89
P5	Cr	4.8	47.73	0.1	0.1	5.8	20.5	6.15	20.79
P5	C	4.9	52.71	0.1	0.1	4.8	18.5	5.09	18.86
P6	A	4.6	104.29	0.1	0.16	2.9	17.3	3.38	17.86
P6	AB	4.8	70.84	0.1	0.1	2.2	12.8	2.62	13.22
P6	BA	4.8	34.28	0.1	0.1	2	9	2.28	9.29
P6	Bi	4.6	22.77	0.1	0.1	1.4	6.7	1.63	7
P6	BC	4.7	12.43	0.1	0.1	1.4	4.5	1.67	4.75
P7	A1	4.5	230.87	0.1	0.21	3.1	16.2	3.97	17.11
P7	A2	4.6	144.67	0.1	0.13	2.6	14.8	3.17	15.43
P7	AB	4.6	112.29	0.1	0.1	2.6	12	3.05	12.5
P7	BA	4.8	57.48	0.1	0.1	1.8	6.4	2.14	6.73
P7	Bi	4.7	47.25	0.1	0.1	1.9	7.1	2.2	7.44
P7	BC	5	47.93	0.1	0.1	1.9	7	2.17	7.29

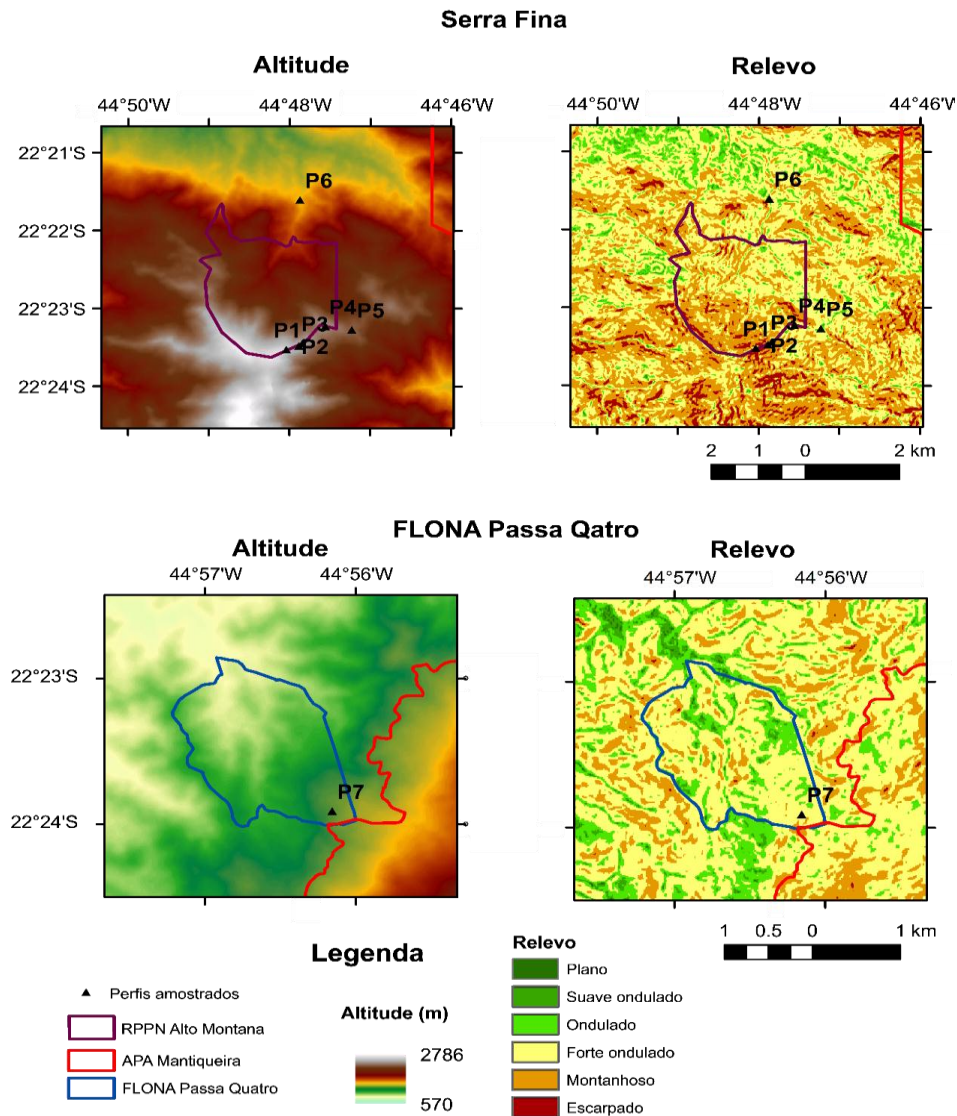
t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7,0.

Fonte: do autor.

A análise de componentes principais representada na Figura 2A demonstra a disposição dos vetores dos atributos SB, Ca, Mg, Zn, B, e P no sentido do aumento da concentração de carbono orgânico (COS). Os Neossolos Litólicos Distróficos típicos se reuniram em torno do aumento do teor de areia. Os cambissolos apresentaram uma concentração expressiva em torno do eixo de aumento do teor de argila. O teor de cobre também se mostrou maior para os cambissolos, especialmente nos horizontes mais profundos. O horizonte BC do

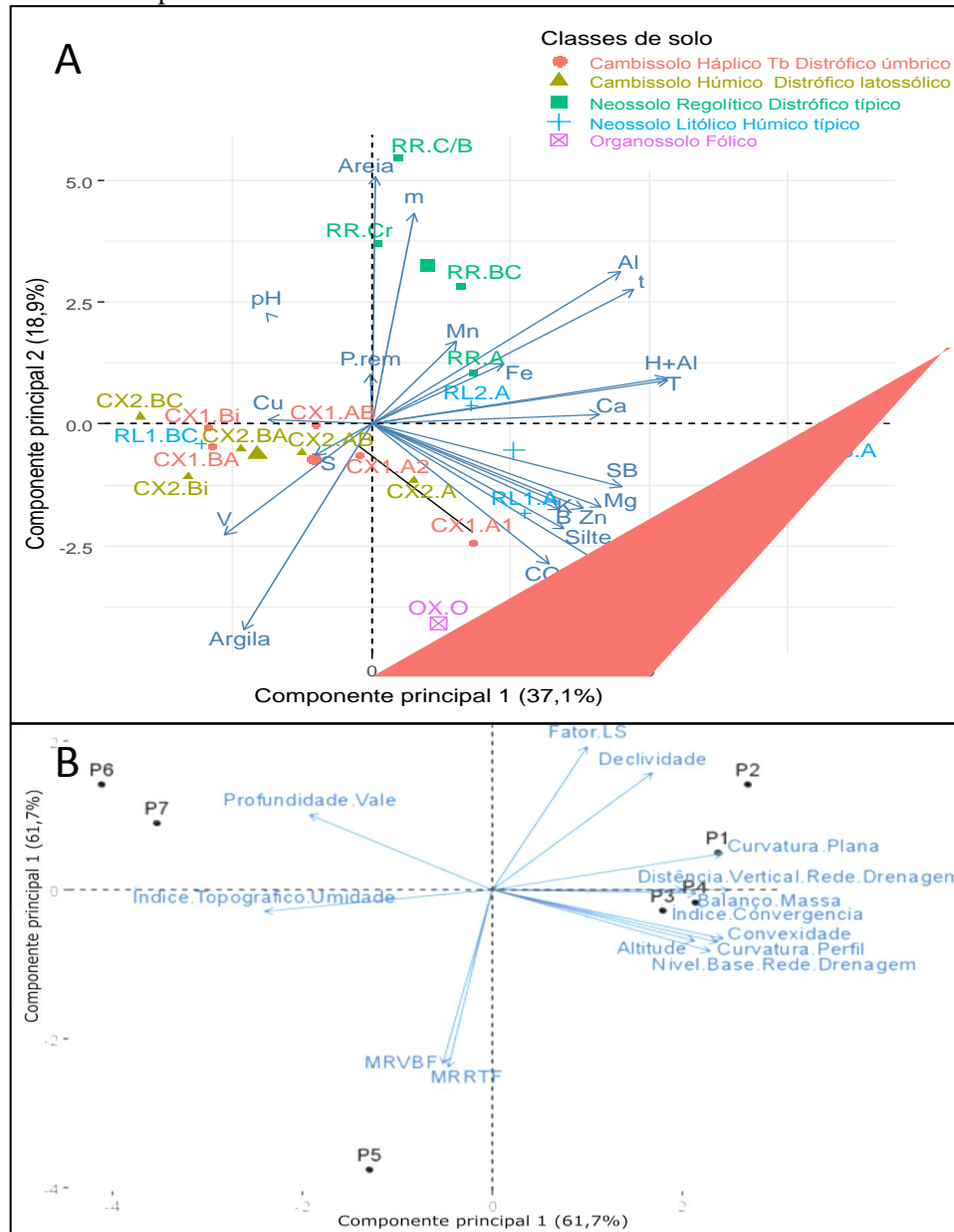
Neossolo Litólico Húmico típico apresentou-se similar aos horizontes mais profundos dos cambissolos.

Figura 3 Mapas de altitude, relevo e localização dos perfis amostrados na Serra Fina e na FLONA Passa Quatro.



Fonte: do autor.

Figura 4 Análise de componentes principais dos atributos: A. químicos e textura dos solos estudados; B. terreno determinados nos locais dos perfis avaliados.



Fonte: do autor.

A análise de componentes principais (Figura 4B) revelou que os atributos de terreno foram eficientes em separar os diferentes solos observados.

A concentração dos pontos P1, P2, P3 e P4 no sentido positivo do eixo Dim 2, ilustra claramente a natureza do relevo em que foram amostrados.

O ponto P2 apresentou maior suscetibilidade à erosão, por sua disposição em relação ao eixo do Fator LS. O ponto P5 foi o único Neossolo Regolítico amostrado e a PCA demonstra claramente o isolamento desse ponto no sentido dos índices MRVBF e MRRTF (*Multi Resolution Valley Bottom Flatness e Multi Resolution Ridge Top Flatness*).

Os pontos 6 e 7, dispersos ao longo do sentido do aumento da profundidade do vale, e do índice topográfico de umidade estão associados aos cambissolos, de cotas mais baixas nas topossequências avaliadas. Ambos apresentaram reduzidos valores de Capacidade de Troca Catiônica efetiva, principalmente ao longo dos horizontes Bi e BC, corroborando com os altos teores de argila nesses pontos.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos em relação aos tipos de solos observados divergem dos apresentados no Plano de Manejo da Floresta Nacional de Passa Quatro (ICMBio, 2009) em que, para a região de estudo, são indicadas ocorrências de Neossolo Litólico e Cambissolo Háplico Alumínico típico.

O fato de os Neossolos Litólicos Distróficos típicos se reunirem em torno do aumento do teor de areia, já era um resultado esperado para esses solos que são menos desenvolvidos. E os cambissolos, apresentarem uma concentração expressiva em torno do eixo de aumento do teor de argila, também já era esperado devido ao maior grau de desenvolvimento desses solos.

O vetor da soma de bases (SB) apresenta-se, como esperado, no sentido de crescimento das bases trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} . Maiores valores de SB observados na PCA (Figura 2A) apontam para os horizontes A dos cambissolos e neossolos e do horizonte O do organossolo, indicando o efeito da matéria orgânica acumulada na retenção de nutrientes.

O deslocamento do vetor da saturação por bases (V) em relação ao vetor da soma de bases indica a que grande parte do complexo sortivo dos solos analisados encontra-se associado ao alumínio trocável (Al^{3+}), especialmente para o Neossolo Regolítico. O vetor do Al^{3+} opõe-se ao da saturação por bases, pois representa uma fração da CTC excluída do cálculo da SB. A alta concentração de pontos amostrais no sentido oposto ao dos nutrientes indica a baixa fertilidade geral dos horizontes mais profundos dos solos amostrados. O teor de cobre (Cu) foi o único nutriente mais presente nas camadas profundas, ao passo que cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B), zinco (Zn), fósforo (P) e manganês (Mn) além da matéria orgânica, apontam para o sentido em que se encontram dispostos os horizontes mais superficiais dos solos.

O neossolo regolítico apresentou elevados teores de areia ao longo de seus horizontes, maior predominância em profundidades maiores, resultado esperado para um solo pouco desenvolvido. Os cambissolos apresentaram maior proximidade com o eixo do teor de argila, sendo explicado pelo maior grau de desenvolvimento desta classe de solos. O fósforo remanescente apresentou baixa qualidade de representação pelos componentes principais 1 e 2, como indica o vetor de pequeno módulo deste atributo.

A análise de componentes principais revelou que os atributos de terreno foram eficientes em separar os diferentes solos observados. A proporção da variância explicada (aproximadamente 85%) deve ser vista com cautela devido à correlação que existe entre os atributos de terreno, já que todos são calculados a partir dos valores de altitude. Não obstante, ficou bem evidenciada a separação dos perfis em três grupos distintos: (i) P6 e P7, os Cambissolos, no primeiro quadrante, associados a menores valores de altitude e relevo mais suavizados (menores valores de curvaturas); (ii) P5, o Neossolo Regolítico, o solo mais distinto dos demais, associado a uma condição de topo plano; e (iii) com P1, P2, P3 e P4, associado a maiores valores de altitude, curvatura e distância da rede de drenagem.

A concentração dos pontos P1, P2, P3 e P4 no sentido positivo do eixo Dim 2, ilustra claramente a natureza do relevo em que foram amostrados. Esses atributos estão fortemente relacionados com a altitude e relevo acidentado dos entornos da crista da Serra Fina. Esses pontos ainda apresentaram valores significativamente altos de carbono orgânico, devido ao reduzido intemperismo dos compostos orgânicos que ocorre em ambientes alto montanos (Tabela 2). A temperatura mais baixa favorece o acúmulo de carbono e formação de perfis turfosos.

O P5 se localiza exatamente ao longo da crista da serra, nas proximidades do pico conhecido como Alto dos Ivos. Dessa forma o índice MRRTF explica adequadamente a condição orográfica do local, ao passo que o MRVBF deveria estar associado a cotas mais baixas do relevo.

5 CONCLUSÕES

Com a PCA procedeu-se à adequada conexão entre os tipos de solo e atributos de terreno.

Os índices MRVBF e MRRTF, embora antagônicos por definição, mostraram-se inadequados para detecção e separação de áreas planas altas e baixas pela metodologia aplicada. Esses atributos devem ser conduzidos com conhecimento da hipsometria da região de estudo para que possa ser aplicada na detecção de áreas planas em faixas restritas e pré-definidas de altitude.

Os resultados mostram relevante eficiência da utilização dos atributos de terreno do SAGA GIS como ferramenta no auxílio ao mapeamento de classes de solo, dinâmica de água, sedimentos e carbono em ambientes montanhosos como a Serra da Mantiqueira.

Sugere-se a utilização do Fator LS para a eleição de locais em que a implantação de práticas conservacionista deva ser priorizada. Isso é de particular interesse em unidades de conservação muito extensas como é o caso da APASM. Com os SIG é possível conduzir as ações de manejo identificando e mapeando facilmente locais mais suscetíveis à erosão.

REFERÊNCIAS

CFSEMG-Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG; 1999.

Florinsky IV. Terrain Analysis in soil science and geology. Russian Academy of Sciences, Pushino, Russia. 2012.

ICMbio. Plano de Manejo da Floresta Nacional de Passa Quatro. Brasília: MMA; 2009.

ICMbio; Detzel Consulting. Plano de Manejo da Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira. Curitiba: APASM; 2018.

Kothe DB, Rider WC, Mosso S, Brock JS, Hochstein JL. Volume Tracking of Interfaces Having Surface Tension in Two and Three Dimensions. AIAA Paper 96-0859, 34th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, January 15-18, 1996.

Möller M, Koschitzki T, Hartmann K, Jahn R. Plausibility test of conceptual soil maps using relief parameters. *Catena*. 2012; 88(1): 57-67. doi: 10.1016/j.catena.2011.08.002.

Panagos P, Borrelli P, Meusburger K. A New European Slope Length Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*. 2015; 5: 117-26. doi:10.3390/geosciences5020117.

Prates V, Souza LCP, Oliveira Junior JC. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. *Agriambi*. 2012; 16(4): 408-14. doi: 10.1590/S1415-43662012000400011.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. Boston, MA: RStudio; 2016.

Santos HG, Almeida JA, Oliveira JB, Lumbreras JF, Anjos LHC, Coelho MR. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2013a.

Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC, Shimizu SH. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2013b.

Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ª. ed. Brasília: EMBRAPA; 2017.

Wilson JP, Gallant JC. Terrain Analysis, Principles and Applications. New York: Wiley; 1997.

Zhou Q, Lees B, Tang G. Advances in digital terrain analysis. Berlin: Springer; 2008.

ARTIGO 2

**INFLUÊNCIA DA VISITAÇÃO EM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS
DOS SOLOS DE DUAS VERTENTES DA SERRA DA MANTIQUEIRA**

Autores: Thomaz Tassinari (DRS/UFLA), Gilberto Coelho (DRS/UFLA), Diego Tassinari (DCS/UFLA), Renato Antônio da Silva (DRS/UFLA)

Journal of environmental planning and management
Issn 0964-0568

RESUMO

As trilhas em unidades de conservação, embora desempenhem o papel fundamental de proporcionar o deslocamento para visitação, também são importantes vetores de desequilíbrios e transformações do ambiente que às circundam. O monitoramento da influência do trânsito pedestre em atributos do solo foi avaliado em duas trilhas localizadas em vertentes da Serra Fina, que culmina na Pedra da Mina, pico mais alto da Serra da Mantiqueira e o quarto mais alto do Brasil. Trata-se de um importante *hotspot* da biodiversidade mundial, que engloba relevante porção da mata atlântica, com pronunciada amplitude altitudinal. Com amostras indeformadas de solo colhidas dentro e fora de trilhas, objetivou-se quantificar os efeitos do pisoteio pedestre na alteração da estrutura do solo. Foram encontradas diferenças significativas na densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade total, umidade de saturação e capacidade de campo entre os tratamentos. Foram aplicadas análises de variância, teste de Tukey e uma análise de componentes principais aos resultados para aprofundar a compreensão dos fenômenos. O pisoteio causou compactação em ambos os locais estudados, porém em diferentes níveis. A trilha da Serra Fina apresentou-se mais suscetível às transformações ocasionadas pelo trânsito pedestre que a trilha da Floresta Nacional de Passa Quatro.

Palavras-chave: Densidade do solo. Porosidade. Condutividade Hidráulica. Trilha. Ecologia da recreação.

ABSTRACT

Trails along protected areas, although have the significant hole of providing access to remote places, are also responsible for the spreading of impacts that cause transformations on the environment. Monitoring the trampling influence in soil properties was evaluated at two trails, both located at *Serra Fina* range geological formation, culminating at “*Pedra da Mina*”, the highest peak of *Mantiqueira* Mountain Range and the fourth highest in Brazil. An important world biodiversity hotspot that englobes relevant Atlantic Forest portion with pronounced height amplitude. Undeformed soil samples were extracted on trail and right off trail at several locations, thus aiming the quantification of the amount of damage that trampling leads in soils structure. Significantly differences were detected at bulk density, hydraulic conductivity, soil porosity, soil saturation, saturation moisture and field capacity among the treatments. Variance analysis, Tukey Test and a Principal Components analysis was carried out to provide a phenomenon comprehension. Trampling leads to compaction at both evaluated sites, but at different levels. The *Serra Fina* range trail showed itself more susceptible to the transformations caused by trampling than the National Forest of *Passa Quatro* trail.

Keywords: Bulk density. Porosity. Hydraulic conductivity. Trail. Recreation ecology.

1 INTRODUÇÃO

Trilhas destinadas ao uso público são importantes vetores de alterações e desequilíbrios ambientais. Quando não há um planejamento do desenho das trilhas e a alocação cuidadosa de seu traçado no relevo há maior chance de que processos erosivos e alterações na estrutura do solo se desencadeiem, alterando assim, a dinâmica da água no solo. Monitoramentos de atributos físico-hídricos do solo em unidades de conservação, fornecem dados importantes para serem usados no planejamento dos regimes de uso público, especialmente em locais sujeitos ao crescimento do fluxo de visitantes. A Serra da Mantiqueira, um importante destino do ecoturismo nacional e internacional que experimenta, atualmente, problemas relacionados ao excesso de visitação e à falta de ações mitigadoras de impactos e carece de estudos que evidenciem a natureza e magnitude das alterações causadas pelo trânsito de visitantes.

O bioma Mata Atlântica, que abrange a região de estudo, é considerado um *hotspot* da biodiversidade mundial e também um dos mais ameaçados do Brasil, pela expansão de atividades antrópicas. Sua cobertura atual representa 12,4% da área original. Possui cerca de 33.084 km² de áreas protegidas, sendo 35,9% da cobertura atual. Com 20.000 espécies de plantas, ainda conta com 1.361 espécies de vertebrados que representam 2,1% do total de espécies de vertebrados do mundo.¹

A Floresta Nacional de Passa Quatro (FLONA), unidade de conservação federal, portanto, vinculada ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, está inserida no Bioma Mata Atlântica. Nessa unidade de conservação encontram-se áreas de florestas nativas, além de reflorestamento com os gêneros *Pinus sp.*, *Eucaliptus sp.* e *Araucaria sp.* em que são realizados tratos silviculturais visando à conservação dos sub-bosques. A gestão da FLONA incentiva a visitação controlada nas trilhas contando ainda com outros

atrativos para visitantes e desde 2017 recebe eventos esportivos desde que seus organizadores cumpram determinadas condicionantes.²

A Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira (APASM), estabelecida pelo Decreto Federal nº 91.304/85, de 03 de junho de 1985, abrange uma área de 437.192,11 ha ao longo de 27 municípios dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Entre as diversas fisionomias vegetais observadas no território da APASM, destacam-se os Campos de Altitude, Florestas em estágios avançado e médio de regeneração, afloramentos rochosos e zonas ripárias pelos elevados índices de diversidade biológica.

O Maciço da Serra Fina, formação geomorfológica inserida na APASM, abrange áreas com elevado interesse para conservação. Ao longo do relevo montanhoso são encontrados campos de altitude além de florestas ombrófilas densas e mistas com presença expressiva da *Araucaria angustifolia* dominando o dossel superior das matas.

Nas porções mais elevadas da APASM, a visitação desordenada representa uma ameaça constante à conservação da fauna, flora, solo e recursos hídricos fazendo surgir a necessidade de estudos cujos dados gerados possam servir de ferramenta para os gestores das UCs em questão implementarem ações mitigatórias visando a visitação de mínimo impacto possível.

Há necessidade de gestores, assessorados por corpo técnico adequado, selecionarem e implementarem uma ou mais ações corretivas ou mitigatórias, sendo o principal objetivo gerencial determinar qual ação será a mais efetiva para cada situação³, levando em conta os recursos disponíveis na UC para implementar ações dessa natureza.

A recreação é uma das raras ameaças ao ambiente cujos impactos podem ser medidos diretamente, comparando-se com locais próximos e não perturbados⁴. Ao comparar atributos observados em locais preservados com os de um local com algum grau de distúrbio, próximos, como ao longo de trilhas

consolidadas, é possível estimar mudanças decorrentes da visitação⁵. O monitoramento de atributos de solo em unidades de conservação pode fornecer sustentação ao planejamento da visitação e à implementação de práticas de manejo conservacionista das trilhas. Tais intervenções melhoram a qualidade e atratividade da experiência de visitação, além de minimizar os impactos negativos das interações das pessoas com as trilhas.

A gestão de unidades de conservação deve integrar além de aspectos ecológicos, também socioculturais e econômicos, para que se obtenha melhores resultados. Hammit et al.⁶ salientaram que gestores não podem simplesmente aceitar que todos os impactos seguem uma resposta linear à quantidade de visitantes que acessam as U.Cs.

Marion & Farrell³ salientaram a importância de estudos adaptativos de suporte à gestão, em que cientistas de diversas áreas possam assessorar gestores de unidades de conservação no monitoramento das condições ambientais e na avaliação ao longo do tempo das medidas de mitigação de impacto implantadas. Porém, tais estudos devem ter caráter local e aplicabilidade prática para que se consiga amortizar os impactos de uma crescente visitação em certas unidades de conservação.

O trânsito de pedestres por trilhas, ao remover paulatinamente a cobertura vegetal morta da superfície, expõe o solo mineral ao contato com os pés, causando efeitos deletérios à estrutura. Liddle & Greg-Smith⁷ notoriamente, quantificaram os efeitos de passagens de pedestres em um trecho de trilha no País de Gales e concluíram que em curto prazo ocorre um aumento linear da densidade do solo com o número de passagens, sendo que a compactação é transmitida a maiores profundidades ao longo do tempo. Entretanto, em trechos declivosos com solos expostos, como ocorre em diversas seções da trilha da Serra Fina, pode haver um decréscimo de densidade do solo no leito ao longo do tempo. Isso pode ocorrer em

decorrência da erosão ativa e perda de sedimentos, que resulta no aprofundamento da superfície.⁸

Conduzindo ampla revisão bibliográfica, Ballantyne & Pickering⁹ computaram resultados de 59 trabalhos em que impactos da visitação em solos e vegetação foram avaliados. Desses, 12 trabalhos trataram do tema “compactação” e quatro compararam esse atributo com áreas adjacentes às trilhas em questão. Três destes relataram variação negativa da compactação com o distanciamento em relação ao leito das trilhas.

Embora a densidade do solo seja amplamente utilizada como um indicativo de compactação, valores naturalmente altos em decorrência da textura e dos materiais de origem podem sugerir erroneamente a ocorrência de compactação. Devido à limitação da densidade do solo como indicativo de alterações na estrutura do solo, Stolf et al.¹⁰ sugerem que a macroporosidade seja utilizada como parâmetro.

A compactação em áreas sujeitas a secas reduz ainda mais a umidade nos períodos de estiagem e induz processos anaeróbicos em solos hidromórficos, ou sujeitos ao encharcamento durante períodos do ano⁷, tornando o solo um ambiente menos atrativo ao desenvolvimento vegetal macro e microbiótico ao longo de trilhas e ao redor de áreas de acampamento.

No presente trabalho teve-se por objetivo avaliar atributos físico-hídricos do solo ao longo um trecho de crista da Serra Fina e Floresta Nacional de Passa Quatro, verificando os efeitos do pisoteio ocasionado pela crescente visitação a que essas áreas estão sujeitas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e amostragem

A pesquisa foi conduzida ao longo da trilha da Serra Fina (SF), inserida na Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira (APASM) e em uma trilha na Floresta Nacional de Passa Quatro (FLONA). As altitudes dos pontos amostrais na SF variaram de 2078 m a 2456 m e na FLONA, de 1257 m a 1326 m.

A trilha da FLONA tem um histórico de uso, principalmente por funcionários da U.C., que a utilizam para acessar os pontos mais altos do aceiro da unidade. Porém, em 2017, para eventos de corrida de pedestres as trilhas foram utilizadas para o trânsito de cerca de 300 atletas.

A trilha da Serra Fina também percorre as divisas entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Parte do trecho abrangido pela pesquisa se localiza nos limites da RPPN Instituto Alto Montana da Serra Fina (RPPNIAM), instituição que serviu de base para os pesquisadores envolvidos no estudo, devido à localização e acessos privilegiados às porções mais altas da Serra da Mantiqueira. Essa trilha tem experimentado um crescimento expressivo na quantidade de visitantes nos últimos anos. Registros obtidos a partir dos livros sobre o cume da Pedra da Mina apontam que de 2001 a 2017, a quantidade de registros aumentou 398%. Esses levantamentos são realizados e tabulados por montanhistas do município de Passa Quatro e Itanhandu (ambos em Minas Gerais), de forma conjunta com gestores da APASM e até o momento não foram publicados.

A região apresenta clima subtropical, sem estação seca e com verão temperado (Cfb)¹¹ com temperatura média do mês mais quente menor que 22 °C e menos que quatro meses com a temperatura média acima de 10 °C. Com relação à distribuição de solos, foram identificadas ocorrências de argissolo vermelho

amarelo aluminico típico, cambissolo háplico alimínico típico, depósitos colúvio aluvionares, latossolo vermelho amararelo aluvionar, neossolo litólico, neossolo regolítico e organossolo hístico. Ambas as unidades de conservação se encontram inseridas no Bioma Mata Atlântica. Entretanto, o território da FLONA sofreu mais interferências antrópicas, principalmente em decorrência da silvicultura. A vegetação do Maciço da Serra Fina, sendo composta por florestas ombrófilas densa e mista, incluindo a restrita fisionomia altimontana, matas de araucárias e campos de altitude com alto grau de endemismo apresenta grande sensibilidade e grande valor para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos.¹²

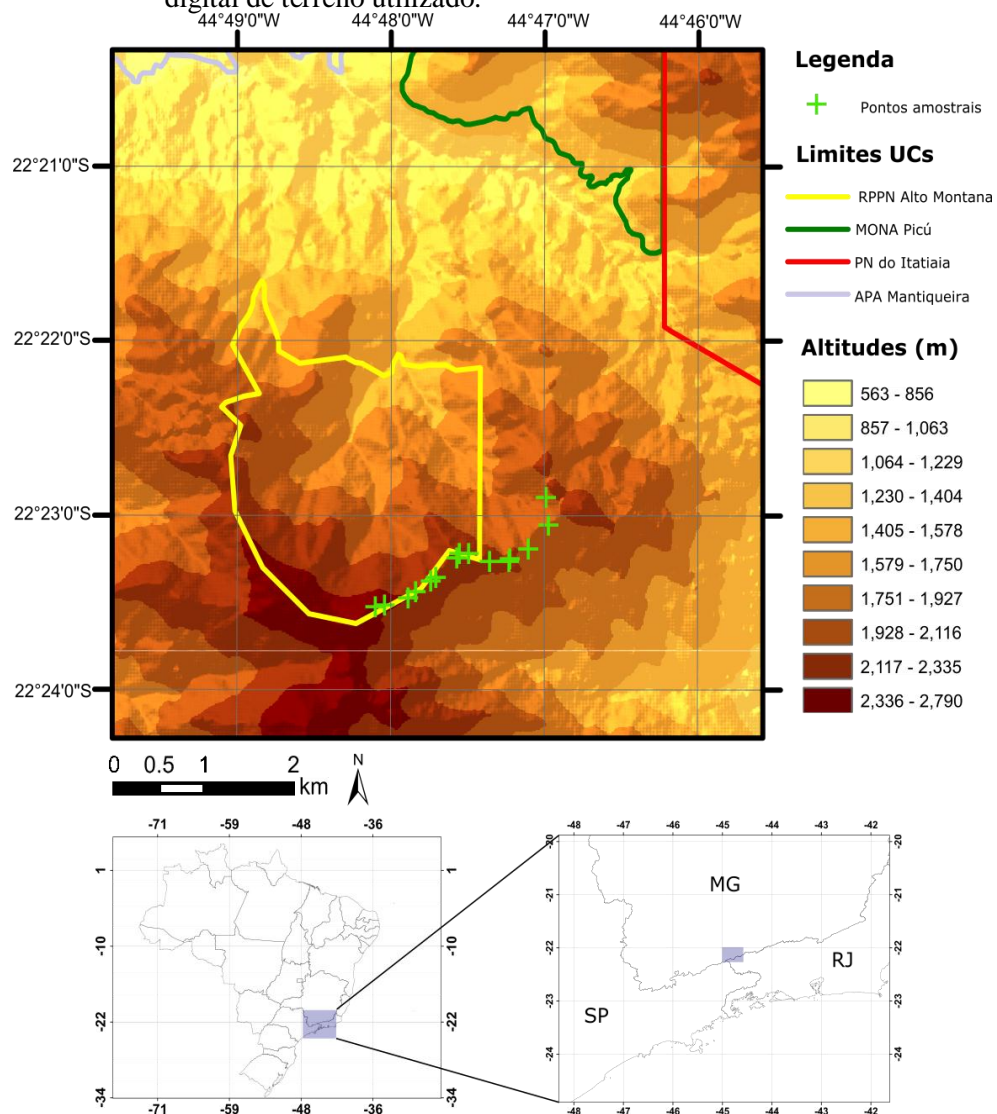
O teor de matéria orgânica, estrutura do solo, volume e distribuição dimensional de poros e densidade afetam de diferentes maneiras as propriedades hidráulicas do solo, como umidade de saturação, condutividade hidráulica, capacidade de campo e retenção hídrica. Essas propriedades regem os fenômenos de transporte de água e solutos em meios porosos, fenômenos importantes para a recarga dos aquíferos e para manutenção do ciclo hidrológico.

A Serra Fina ainda, bem como o proeminente Planalto do Itatiaia, devido às elevadas altitudes das cristas, apresenta, como particularidade hidrológica, ciclos de congelamento ao longo do ano, especialmente durante o inverno. Durante vários dias do ano ocorrem temperaturas negativas nas porções elevadas da serra em faces sujeitas a menor aporte energético de radiação solar.

O mapa ilustrado na Figura 1 representa o acentuado gradiente de altitude da região estudada. A imagem foi produzida a partir de um modelo digital de terreno gerado pelo sensor PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) levado a bordo do satélite ALOS (Advanced Land Observation Satellite), também conhecido por Daichi, sendo uma missão conduzida de forma conjunta pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) e Organização de Sistemas de Observação de Recursos do Japão (Japan

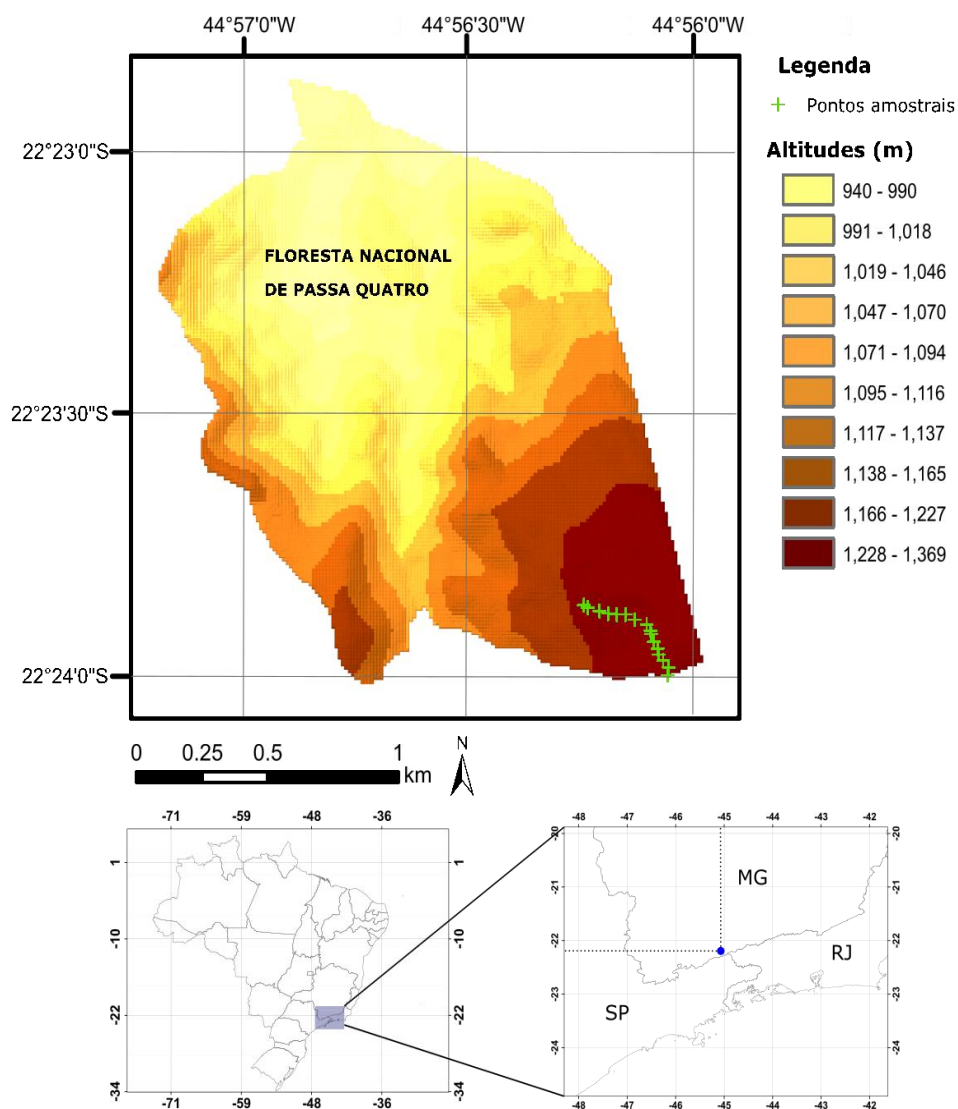
Resources Observation Systems Organization (JAROS)), apresenta resolução espacial de de 12,5 m x 12,5 m.¹³

Figura 1 Localização relativa entre a área de estudo Serra Fina sobre modelo digital de terreno utilizado.



Fonte: do autor.

Figura 2 Localização relativa entre a área de estudo FLONA sobre modelo digital de terreno utilizado.



Fonte: do autor.

2.2 Caracterização do solo

Foram realizadas amostragens de solo em 14 pontos ao longo da Trilha da Serra Fina, inserida na Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira e 10 pontos em uma trilha da Floresta Nacional de Passa Quatro.

Em cada ponto foi coletado um par de amostras indeformadas com amostrador de Uhland, sendo uma amostra extraída diretamente do leito da trilha e uma fora, para que fossem avaliados os efeitos do pisoteio pedestre em atributos físicos do solo. Os cilindros utilizados para acondicionar as amostras foram de PVC com diâmetro médio de 6,57 cm e altura média de 8,20 cm.

No Laboratório de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Lavras foram quantificados os seguintes atributos: massa específica do solo (D_s), pelo método gravimétrico em estufa, massa específica de partículas (D_p), pelo método do balão volumétrico, condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) com permeâmetro de carga constante, porosidade total (P), macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP) com a mesa de tensão a 6 kPa ou 60 cm.¹⁴

2.3 Análises estatísticas

Foram aplicadas análises de variâncias disponíveis no pacote estatístico R¹⁵ para verificar tendências de ocorrências entre os tratamentos.

Com os valores médios dos tratamentos foi aplicado o Teste de médias Tukey com nível de significância de 5%.

Com os dados obtidos foi conduzida, ainda, uma Análise de Componentes Principais (PCA) também no pacote R¹⁵, considerando como tratamentos: FLONA, Serra Fina (SF), FLONA na trilha, FLONA fora da trilha, Serra Fina na trilha (SF trilha) e Serra Fina fora da trilha (SF fora). A Análise de

Componentes Principais (PCA) é uma técnica multivariada em que observações são aglutinadas ao longo de eixos por uma série de variáveis inter-relacionadas. Seu objetivo é extrair informações importantes representando os dados como um par de novas variáveis ortogonais denominadas componentes principais.¹⁶ Essa operação reduz a grande dimensionalidade e colinearidade dos dados e comprime toda a variância em dois eixos de componentes principais.¹⁷

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados representados na tabela 1, não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos nem de suas interações na densidade do solo. A heterogeneidade do material amostrado, com presença ora de rochas, ora de grandes macroporos, com origens morfológicas diversas, fez com que os efeitos da compactação não fossem detectados nessa análise. Um desdobramento da elevada variabilidade dos resultados é a alta proporção da soma de quadrados retida no resíduo. Os efeitos do pisoteio, entretanto, ficaram evidentes nos outros atributos físico-hídricos analisados.

A tabela 2 demonstra que na FLONA, a densidade do solo na trilha foi, em média, $0,01 \text{ g.cm}^{-3}$ maior que fora da trilha, enquanto na Serra Fina essa diferença foi de $0,02 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo essa elevação insignificante comparada aos $0,3 \text{ g.cm}^{-3}$ reportados na literatura.^{7, 18} Embora a heterogeneidade do solo amostrado possa ter mascarado tendências sensíveis de alteração de densidade, pode-se concluir que a abundante cobertura vegetal teve um efeito protetivo à compactação na trilha.

Tabela 1 Proporção da soma de quadrados (SQ) retida em cada fonte de variação (FV) para densidade do solo (ds), porosidade total (poros), macroporosidade (macro), microporosidade (micro), condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) e umidade de saturação (teta-sat)

FV	ds	poros	macro	micro	ksat
local	0.06	0.29 *	0.03	0.29 *	0.14 *
posição	0.03	$5 \cdot 10^{-3}$	0.13 *	0.06 *	0.11 *
local*posição	$4 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$	0.06 *	0.05 *	0.05
resíduo	0.94	0.70	0.80	0.60	0.70

Valores significativos são seguidos por “*”.

Com base na Tabela 1, os atributos porosidade total, microporosidade e condutividade hidráulica apresentaram diferenças significativas para o tratamento local evidenciando o efeito dos diferentes estágios de pedogênese a que estão submetidos os locais de estudo.

Ainda com base na Tabela 1, observa-se que os atributos macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica foram influenciados significativamente pelo trânsito pedestre, apresentando diferenças para o tratamento posição. Esse resultado sugere que as alterações causadas pelo pisoteio na estrutura e dinâmica da água no solo são significativas ao longo das trilhas estudadas. Essas diferenças são evidenciadas na Tabela 2 a seguir.

A interação entre os fatores também levou a diferenças significativas em relação aos atributos macro e microporosidade. Conclui-se que os impactos do pisoteio pedestre na estrutura e dinâmica da água são influenciadas pelo grau de desenvolvimento do solo.

Tabela 2 Resultado do Teste de Tukey, com 5% de significância para médias de atributos do solo e fontes de variação

Local	Posição	ds (g/cm ³)	poros (cm ³ /cm ³)	macro (cm ³ /cm ³)	micro (cm ³ /cm ³)	ksat (cm/s)
FLONA	Trilha	0.74 Aa	0.61 Ab	0.18 Ba	0.43 Aa	0.0295 Bb
	Fora	0.73 Aa	0.58 Aa	0.25 Aa	0.33 Aa	0.0666 Aa
SF	Trilha	0.66 Aa	0.68 Ba	0.18 Ba	0.51 Aa	0.0157 Ab
	Fora	0.64 Aa	0.69 Aa	0.19 Ab	0.50 Ba	0.0228 Ab

Valores seguidos por letras maiúsculas diferentes diferem entre si, rejeitando a hipótese de nulidade para a fonte de variação “Local” pelo teste de Tukey com 5% de significância. Valores seguidos por letras minúsculas diferentes diferem entre si, rejeitando a hipótese de nulidade para a fonte de variação “Posição” pelo teste de Tukey com 5% de significância.

O teste Tukey a 5% não indica diferença significativa de densidade do solo dentro e fora da trilha na Serra Fina. O aumento significativo de densidade,

também não foi detectado na FLONA pelo teste. A grande variabilidade de composição das amostras pode ter levado a esse resultado, tendo em vista a presença de fragmentos de rochas e macroporos de dimensões e origens morfológicas diversas. A densidade do solo é um atributo que, por definição, é alterada pela compactação, concomitantemente à redução de volume de macroporos. Porém, a detecção desse efeito não foi possível pelo teste estatístico conduzido.

A porosidade total apresentou-se significativamente menor na trilha da Serra Fina do que fora, sugerindo efeito de modificação da estrutura do solo.

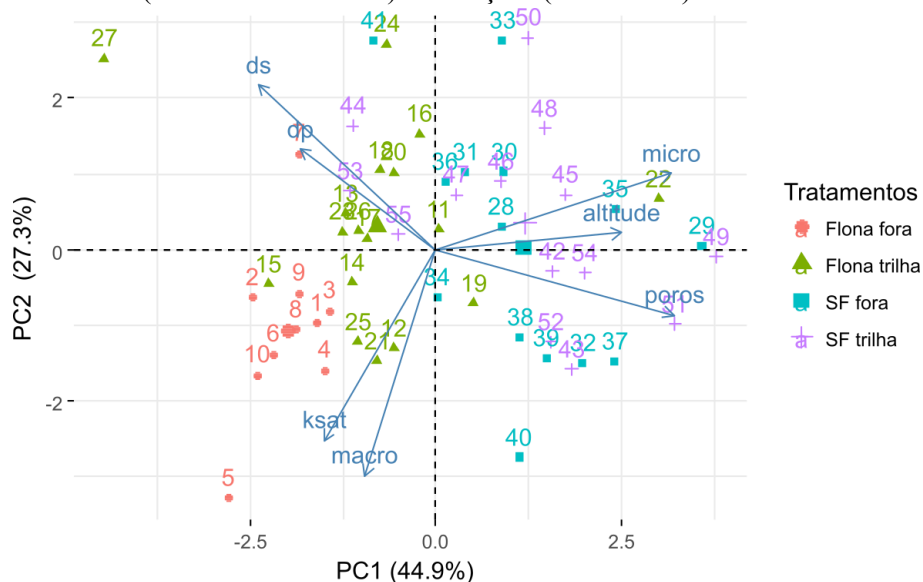
Observa-se claramente o efeito do trânsito pedestre na conversão de macroporos em microporos, sugerindo compactação, ainda que o teste não tenha detectado diferença significativa de densidade em decorrência da grande variabilidade desse atributo. Mesmo no leito das trilhas estudadas o volume de macroporos foi, em média, 80% maior que o valor crítico de $10 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ indicado por Hakansson & Lipiec¹⁹, com crítico para aeração do solo e infiltração, sugerindo que a compactação promovida por pedestres, pelo menos ainda, não foi o suficiente, para que sérios distúrbios na dinâmica da água no solo sejam desencadeados na região de estudo.

A variabilidade da densidade em ambos os locais tem origem na presença de fragmentos de rochas e grandes macroporos, de origens morfológicas diversas, presentes nos solos amostrados.

A FLONA apresentou valores mais altos de k_{sat} fora da trilha, corroborando a hipótese de modificação da estrutura do solo.

Foram detectados fora da trilha da Serra Fina, valores significativamente maiores de porosidade total que os obtidos na trilha, sugerindo compactação e corroborando com os valores de k_{sat} .

Figura 3 Resultado gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) para altitude, densidade do solo (ds), porosidade total (poros), macroporosidade (macro), microporosidade (micro) e condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) para as fontes de variação “Local” (Serra Fina e FLONA) e “Posição” (trilha e fora).



Os eixos ortogonais de componentes principais (PC1 e PC2) condensam respectivamente 44,9% e 27,3% de toda variação dos dados, agrupando as variáveis respostas.

Os valores de ksat apresentaram proporcionalidade inversa com a altitude, sugerindo maiores condutividades nas porções mais baixas do relevo. Isso ocorre devido à estruturação e maiores porosidades dos solos mais desenvolvidos da FLONA.

Como esperado, existe uma forte relação entre ksat e a macroporosidade. Isso pode ser observado no gráfico pela proximidade entre os eixos dessas variáveis.

A densidade do solo (ds) e a densidade de partículas estão fortemente relacionadas, sugerindo que, mesmo havendo compactação e modificação da estrutura do solo, o material de origem é determinante para o valor de ds.

A concentração de pontos da FLONA no sentido do eixo de ksat é explicado pela grande porosidade dos solos florestais do local. O ponto 5, particularmente, apresentou ksat muito mais elevado, podendo ser explicado pela ocorrência de grandes macroporos, provavelmente originados das atividades de fauna e flora no solo. As amostras colhidas fora da trilha apresentaram maiores valores de ksat que as de dentro da trilha, demonstrando que o pisoteio e trânsito de visitantes e funcionários da unidade leva a uma redução da porosidade drenável do solo localmente ao longo do leito da trilha.

Os resultados apontam para um decaimento da macroporosidade do solo, acompanhado por um aumento da microporosidade em decorrência do pisoteio. A transformação dos macroporos em microporos e a conseqüente diminuição da condutividade hidráulica são efeitos relacionados à compactação. Na FLONA esse efeito foi mais evidente, mostrando maior suscetibilidade desses solos ao pisoteio. Entretanto, embora os solos da Serra Fina tenham se apresentado mais resilientes à compactação, a vegetação, em grande parte endêmica, desse local se mostra muito mais sensível e com mais lenta regeneração se comparada com a da FLONA.

Os solos da Serra Fina apresentaram valores de microporosidade mais elevados que os da FLONA de maneira geral. As amostras colhidas na trilha apresentaram microporosidades ainda maiores que as de fora da trilha.

Os dados da Serra Fina apresentaram grande variabilidade ao longo do eixo horizontal. Amostras da trilha apresentaram valores mais altos de densidade do solo e tiveram grandes variações de porosidade total, macroporosidade e microporosidade, além de um espectro mais amplo de altitudes que as amostras da FLONA.

A homogeneidade dos dados da FLONA valida a metodologia empregada nas análises de todos os atributos. A grande variabilidade dos dados da Serra Fina tem origem nas diferenças de ambientes do local.

4 CONCLUSÕES

Os resultados apontaram transformações decorrentes do pisoteio, principalmente na distribuição dimensional dos poros e na condutividade hidráulica do solo saturado.

Foi possível a detecção do efeito de compactação somente pelos atributos relacionados à porosidade, tendo a densidade do solo se mostrado um indicativo ineficaz para monitorar os efeitos da compactação em solos com certo grau de heterogeneidade.

A cobertura vegetal morta, quando consolidada, favorece a morfologia de macroporos, indispensáveis à infiltração de água e impõe resistência ao escoamento superficial em decorrência do aumento de rugosidade do leito. Ainda, oferece um efeito protetivo e mitigatório à compactação e ao deslocamento de sedimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A oposição ao corte de vegetação ao longo das trilhas, fruto da própria mentalidade assertivamente conservacionista de agentes envolvidos com o montanhismo, pode levar ao aumento dos impactos da visitação por meio de sua difusão e do baixo aporte protetivo de cobertura vegetal morta no leito das trilhas.

O manejo de poda das trilhas é fundamental ainda para demarcar o traçado, melhorar a experiência de visitação com a redução de obstáculos, reduzir o tempo de permanência dos visitantes no local e reduzir o surgimento de caminhos secundários por meio da evidenciação da trilha.

O devido balizamento dos visitantes deve ser uma preocupação emergencial dos gestores e toda comunidade envolvida com o *trekking* e montanhismo na região para que a supressão de vegetação seja reduzida somente ao leito das trilhas.

REFERÊNCIAS

1. Myers, Norman. et al. “Biodiversity hotspots for conservation priorities”. *Nature* 403 (2000): 843-58.
2. ICMbio. *Plano de Manejo da Floresta Nacional de Passa Quatro*. Brasília: MMA, 2009.
3. Marion, Jean Luc, and Farrel, James Tomas. “Management practices that concentrate visitor activities: camping impact management at Isle Royale”. *Journal of Environmental Management* 66 (2002): 201-22.
4. Cole, David N. *Visitor Impact Monitoring*. The George Write Forum. 2006.
5. Cole, David N., and Monz, Christopher A. “Spatial patterns of recreation impact on experimental campsites”. *Journal of Environmental Management* 70 (2004): 73-84.
6. Hammit, William E. et al. *Wildland recreation: ecology and management*. Hoboken: Wiley Blackwell, 2015.
7. Liddle, Michael J., and Greig-Smith, Paul. “A Survey of Tracks and Paths in a Sand Dune Ecosystem I. Soils”. *The Journal of Applied Ecology* 12 (1975): 893.
8. Deluca, Thomas H. et al. “Influence of llamas, horses, and hikers on soil erosion from established recreation trails in western Montana, USA”. *Environmental Management* 22 (1998): 255-62.
9. Ballantyne, Mark, and Pickering, Catherine M. “The impacts of trail infrastructure on vegetation and soils: Current literature and future directions”. *Journal of Environmental Management* 164 (2015): 53–64.
10. Stolf, Rubismar. et al. “Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35 (2011): 447-59.
11. Alvares, Clayton A. et al. “Köppen’s climate classification map for Brazil”. *Meteorologische Zeitschrift* 22 (2014): 711-28.
12. ICMbio - Detzel Consulting. *Plano de Manejo da Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira*. Curitiba: APASM, 2018.

13. Rosenqvist, Ake. et al. "Technical outline and mission concepts". *4th International Symposium on Retrieval of Bio and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications*. Austria, November (2004): 16-19.
14. Embrapa. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
15. R Development Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing ISBN 3- URL <http://www.R-project.org>.
16. Abdi, Hervé, and Williams, Lynne J. "Principal component analyses". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics 2* (2010): 433-59.
17. Hartermink, Alfred, and Minasny, Budiman. *Digital soil morphometrics*. Progress in soil science. Springer, 2016
18. Crawford, Austin K., and Middle, Michael J. "The effect of trampling on neutral grassland". *Biological Conservation 12* (1977): 135-42.
19. Hakansson, Inge, and Lipiec, Jerzy. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Tillage Research 53* (2000): 71-85.

ARTIGO 3

**ASPECTOS DO ESCOAMENTO EM BACIA HIDROGRÁFICA NA
CABECEIRA DA SERRA DA MANTIQUEIRA**

Autores: Thomaz Tassinari (DRS/UFLA), Gilberto Coelho (DRS/UFLA)

Revista Brasileira de recursos hídricos.
Issn 2318-0331

RESUMO

A Serra da Mantiqueira é uma importante região de recarga do aquífero que abastece algumas das maiores cidades do Brasil. O relevo proeminente, por efeito orográfico, recebe uma grande quantidade de chuvas ao longo do ano. Um monitoramento da precipitação e, concomitantemente, da vazão do Rio Pinhão Assado, Itamonte, MG, tributário do Rio Verde, foi conduzido utilizando-se equipamentos com aquisição automática de dados. Foram conduzidas separações dos escoamentos de base e superficial pelo método de Barnes para 8 eventos de precipitação com características distintas, além do registro de dados de mais 79 eventos de chuva. As hidrógrafas revelam a importância da cobertura de Mata Atlântica na infiltração da água da chuva e consequente manutenção das vazões dos corpos hídricos da região, além da proteção das regiões à jusante contra cheias repentinas.

Palavras-chave: Hidrologia. Superficial. Deflúvio.

ABSTRACT

Mantiqueira Mountain Range is an important recharge region of the aquifer which supplies some of the largest cities in Brazil. The prominent relief, by orographic effect, receives a great amount of rains throughout the year. A monitoring of precipitation and, concomitantly, flow discharge of *Pinhão Assado* River, *Itamonte*, MG, a *Verde* River tributary, it was carried out with appropriate devices with automatic data. Separations of the base and surface flows were conducted by Barnes method for 8 precipitation events with distinct characteristics, in addition to data recording of another 79 rain events. The hydrographs reveal the importance of the Atlantic Rainforest cover in the rainwater infiltration and consequent water bodies flows maintenance of the region, besides the protection of the downstream regions against sudden floods.

Keywords: Hydrology. Superficial. Water runoff.

1 INTRODUÇÃO

A Mata atlântica, antes da colonização do Brasil, era um vasto bioma que ocupava cerca de 1,2 milhões de quilômetros quadrados, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, paralelamente à costa brasileira com diferentes fisionomias em uma grande diversidade de ambientes, tanto em áreas de várzeas como nas encostas íngremes das Serras do Mar e da Mantiqueira. Entretanto, a Mata Atlântica nos últimos séculos, vem sofrendo grande redução devido à ocupação humana e ao desmatamento (AXIMOFF; ALVES; RODRIGUES, 2014).

Atualmente, 12,4% desse total ainda encontram-se ocupados por vegetação primária, embora fragmentado (SOSMA, 2017), dos quais aproximadamente um terço está inserido em unidades de conservação diversas. Já foram descritas cerca de 20.000 espécies de plantas nesse bioma, sendo 8.000 endêmicas. Adicionalmente, 1381 espécies de animais vertebrados habitam o bioma Mata Atlântica, dos quais 567 são endêmicos (MYERS et al., 2000).

A Serra da Mantiqueira é parte integrante do domínio da Mata Atlântica, que integra várias formações florestais. Essa formação geológica apresenta condições orográficas muito peculiares que favorecem o endemismo devido aos acentuados gradientes de altitude e conseqüentemente de condições edáficas e atmosféricas diversas, observados em suas encostas.

A hidrologia florestal é o estudo da estrutura e função de bacias hidrográficas cobertas por florestas e sua influência no movimento e no armazenamento de água. De maneira purista, é uma disciplina quantitativa sustentada por conceitos de conservação de massa em meio poroso contínuo (BREN et al., 2011). Uma característica particular da região estudada neste trabalho é o aporte de água no solo advindo da constante nebulosidade presente. A hidrologia das florestas nebulares tropicais (fisionomia ombrófila densa altomontana), de ocorrência extremamente restrita, já foi alvo de relevantes

trabalhos de pesquisa conduzidos no local, essa fisionomia pode ser facilmente identificada pela grande concentração de plantas epífitas, como orquídeas, bromélias, além de uma miríade de musgos, plantas cuja anatomia é especializada em capturar e armazenar umidade da atmosfera. Essa entrada de água no ciclo hidrológico é, geralmente, desprezada nas metodologias mais tradicionais de modelagem, que apenas contabilizam a precipitação proveniente das chuvas.

A intensidade de precipitação e os atributos físicos do solo, além do uso e da ocupação a que a área está sujeita, determinam qual a fração será conduzida para o escoamento subterrâneo e qual se tornará escoamento superficial. Assim, o solo é componente-chave para a compreensão da dinâmica do ciclo hidrológico em determinado ecossistema, além disso, tem a função de suportar as diversas formas de vida e possui importância vital na resiliência do ecossistema frente às possíveis variações climáticas (SANTOS et al., 2013).

Em bacias cujas coberturas são ocupadas por florestas com relevo acidentado, o escoamento subsuperficial apresenta grande relevância comparado a outros tipos de cobertura e uso do solo (MELLO; SILVA, 2013). Menezes (2008) destaca a estrutura de solos florestais com coberturas de Mata Atlântica em regiões serranas, que favorece o escoamento devido aos macroporos de diversas naturezas morfológicas, formando fluxos preferenciais que oferecem pouco impedimento à infiltração. Nesses locais o impacto das chuvas intensas é atenuado e reduz a formação de deflúvio superficial.

O escoamento superficial em solos florestais ocorre lateralmente rumo ao corpo hídrico drenante, somente quando todo o perfil do solo encontra-se saturado, algo de ocorrência restrita a algumas regiões com configurações específicas de relevo, devido à elevada macroporosidade dos solos florestais da região (TASSINARI, 2019). Esse processo ocorre, geralmente, quando o corpo hídrico é separado da encosta por uma zona ciliar relativamente plana e sua magnitude depende da declividade e extensão da encosta, condutividade

hidráulica e umidade do solo e intensidade da evapotranspiração da vegetação ciliar em questão (BURT; PINAY; MATHESON, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Verde situa-se na mesorregião Sul/Sudoeste de Minas possuindo área de drenagem de 6.891,4 km², integrando a bacia hidrográfica do rio Grande. A bacia hidrográfica do rio Verde constitui a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) GD4, sendo que sua área corresponde a 4,25% da área total da bacia do rio Grande. Está inserida no bioma Mata Atlântica. O rio Verde nasce no limite dos municípios de Passa Quarto e Itanhandu, na vertente ocidental da Serra da Mantiqueira, a cerca de 2.600 m de altitude, próximo à divisa de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, e corre por sua encosta, em direção oeste.

Diante do exposto, com o presente trabalho objetivou-se apresentar a resposta de uma bacia hidrográfica coberta por Mata Atlântica em ambiente montanhoso à precipitação incidente, avaliando a resposta das vazões medidas no ponto de controle frente às lâminas precipitadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da região de estudo

O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do Rio Pinhão Assado, com cobertura predominante de Mata Atlântica preservada, em torno da unidade de conservação RPPN Instituto Alto Montana, inserida na Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira. O ponto de controle possui uma área de drenagem de 852,4 ha.

Na Bacia do Verde inserem-se 31 municípios, 18 desses com a área total na bacia, incluindo 23 sedes municipais, sendo: Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Cambuquira, Campanha, Carmo da Cachoeira, Carmo de Minas, Caxambu, Conceição do Rio Verde, Cristina, Dom Viçoso, Elói Mendes, Itamonte, Itanhandu, Jesuânia, Lambari, Monsenhor Paulo, Olímpio Noronha, Passa-Quatro, Pedralva, Pouso Alto, São Gonçalo do Sapucaí, São Lourenço, São Sebastião do Rio Verde, São Tomé das Letras, Soledade de Minas, Três Corações, Três Pontas, Varginha, Virgínia.

A atividade econômica da bacia do rio Verde é bastante diversificada, destacando-se na agropecuária a produção de café. A indústria apresenta grandes unidades industriais de eletroeletrônicos e de alumínio. No setor de serviços o destaque fica por conta das atividades financeiras, comerciais e educacionais e das estâncias hidrominerais.

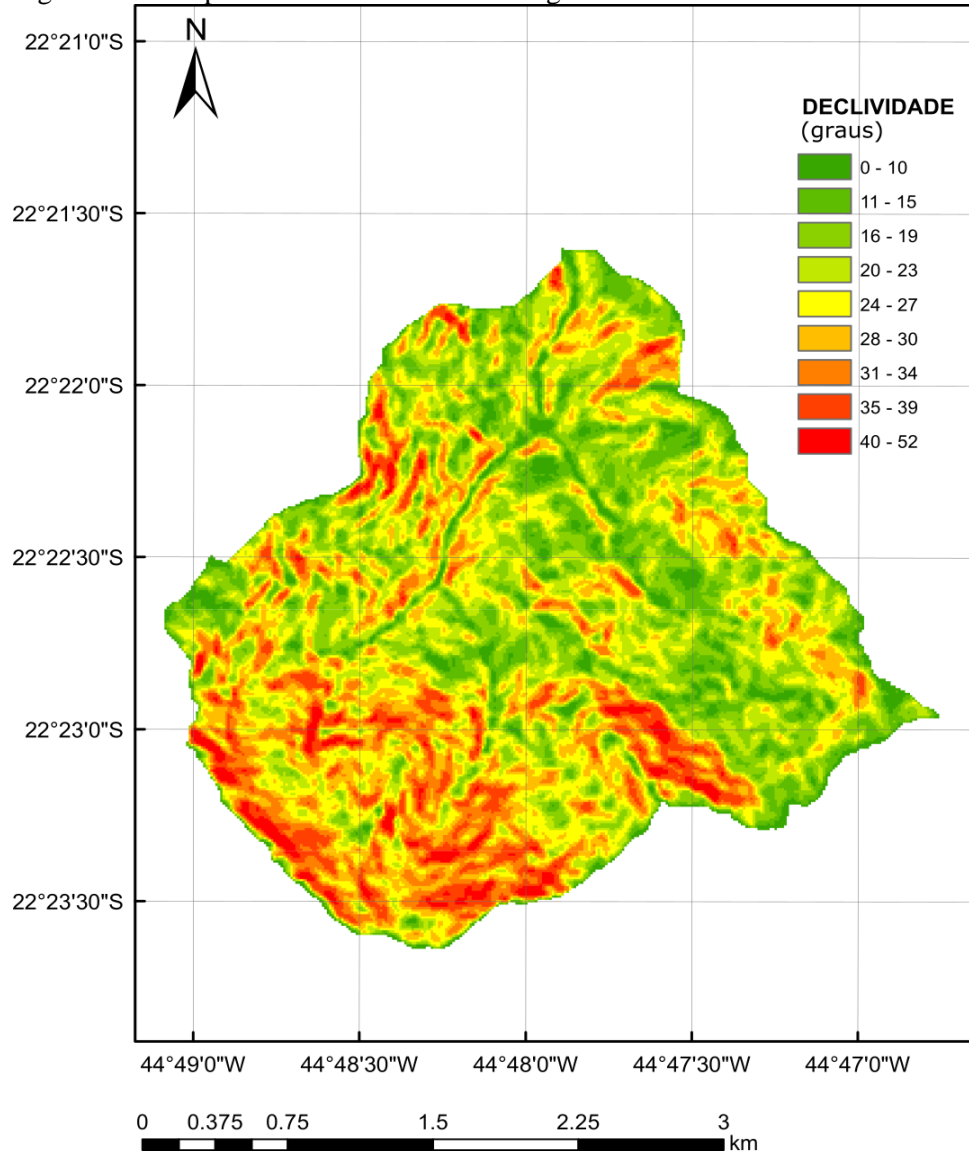
As águas minerais constituem o principal recurso mineral não metálico existente na bacia do rio Verde, estando vinculadas, direta ou indiretamente, às atividades econômicas básicas de alguns municípios, especialmente às estâncias hidrotermais, à sua exploração para balneoterapia ou como água de mesa, o que demonstra a importância dos recursos hídricos para a economia local.

A região apresenta clima temperado úmido com inverno seco e verão chuvoso (Cfb). Com relação à distribuição de solos, foram identificadas ocorrências de Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico Húmico Típico, Cambissolo Háplico Distrófico Úmbrico, Organossolo Fólico e Cambissolo Húmico Distrófico Latossólico. A vegetação é, na maior parte mata atlântica, matas de araucárias, fisionomias ombrófilas como a densa e a mista altomontana de ocorrência restrita (POMPEU, 2015).

2.2 Monitoramento hidrológico

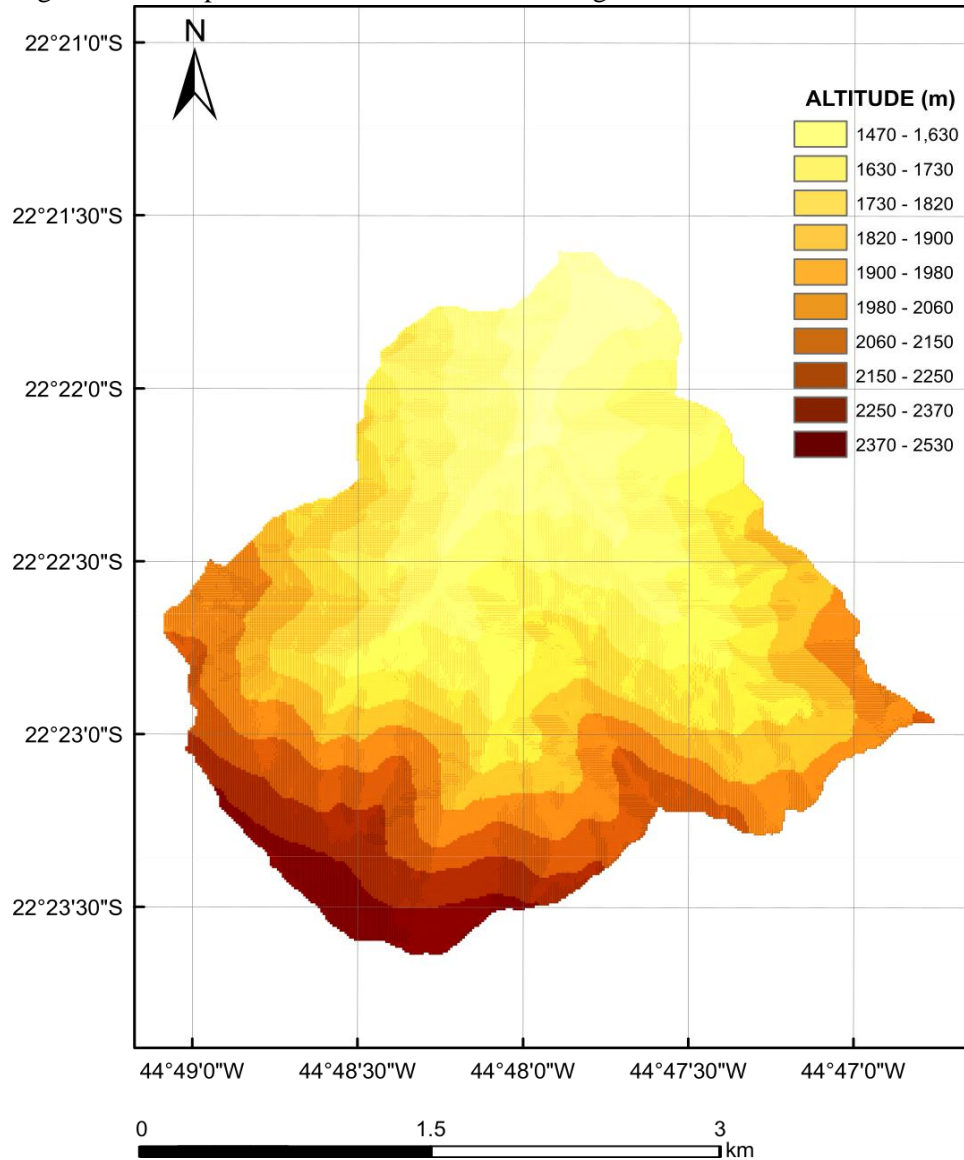
Com o SIG ArcMap (ESRI, 2010) foi gerado um mapa da bacia hidrográfica em questão. Um processamento foi realizado para obter um mapa de declividades da bacia (LYON, 2003).

Figura 1 Mapa de altitudes da bacia hidrográfica estudada.



Fonte: do autor.

Figura 2 Mapa de declividades da bacia hidrográfica estudada.



Fonte: do autor.

Nas porções mais altas se percorre trechos sobre lajes rochosas entre complexos rupestres de altitude, com abundância e riqueza de espécies rasteiras, com alto grau de endemismo.

Trata-se de uma região montanhosa, com altitudes ao longo da bacia variando entre 1476 m e 2527 m. Durante vários dias do ano ocorrem formações de gelo nas porções mais altas e encostas menos ensolaradas, além disso a neblina e sua condensação conferem um aporte de água no ciclo hidrológico constante ao longo do ano (BRUIJNZEEL et al., 2005). Esses aspectos conferem uma dinâmica particular à hidrologia do local.

2.3 Monitoramento hidrológico

Um linígrafo com aquisição automática de dados foi instalado próximo à foz do Rio Pinhão Assado e realizou registros da altura da coluna de água sobre o sensor a cada 5 minutos durante 1 ano, período que durou a aquisição de dados deste trabalho. Foram realizadas quatro medições de vazão do referido corpo hídrico ao longo do ano, por meio de molinete hidrométrico. Esses valores serviram para compor a curva-chave, que foi utilizada para transformar os dados do linígrafo em dados de vazão.

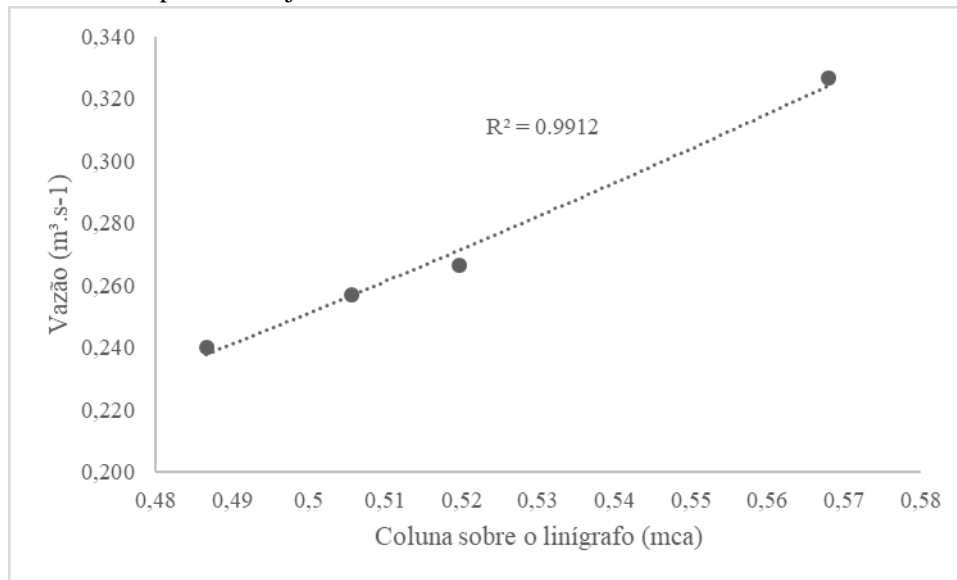
Concomitantemente, um pluviômetro com aquisição automática de dados registrou todos os eventos de chuvas que ocorreram no período, possibilitando o cruzamento dos dados de precipitação e de vazão do corpo hídrico.

Os 87 eventos de precipitação identificados foram separados por período de duração e divididos em quatro grupos (quartis). De cada quartil foram selecionados os dois eventos para plotagem das hidrógrafas. Os respectivos hietogramas de precipitação foram plotados junto às hidrógrafas para facilitar a visualização e a compreensão da resposta dinâmica do escoamento à chuva.

Foi utilizado o método de Barnes (1939) para separação do escoamento superficial e de base. Foi estimado o deflúvio decorrente dos oito eventos de precipitação selecionados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 3 Curva chave de vazões do corpo hídrico estudado com a função potencial ajustada.



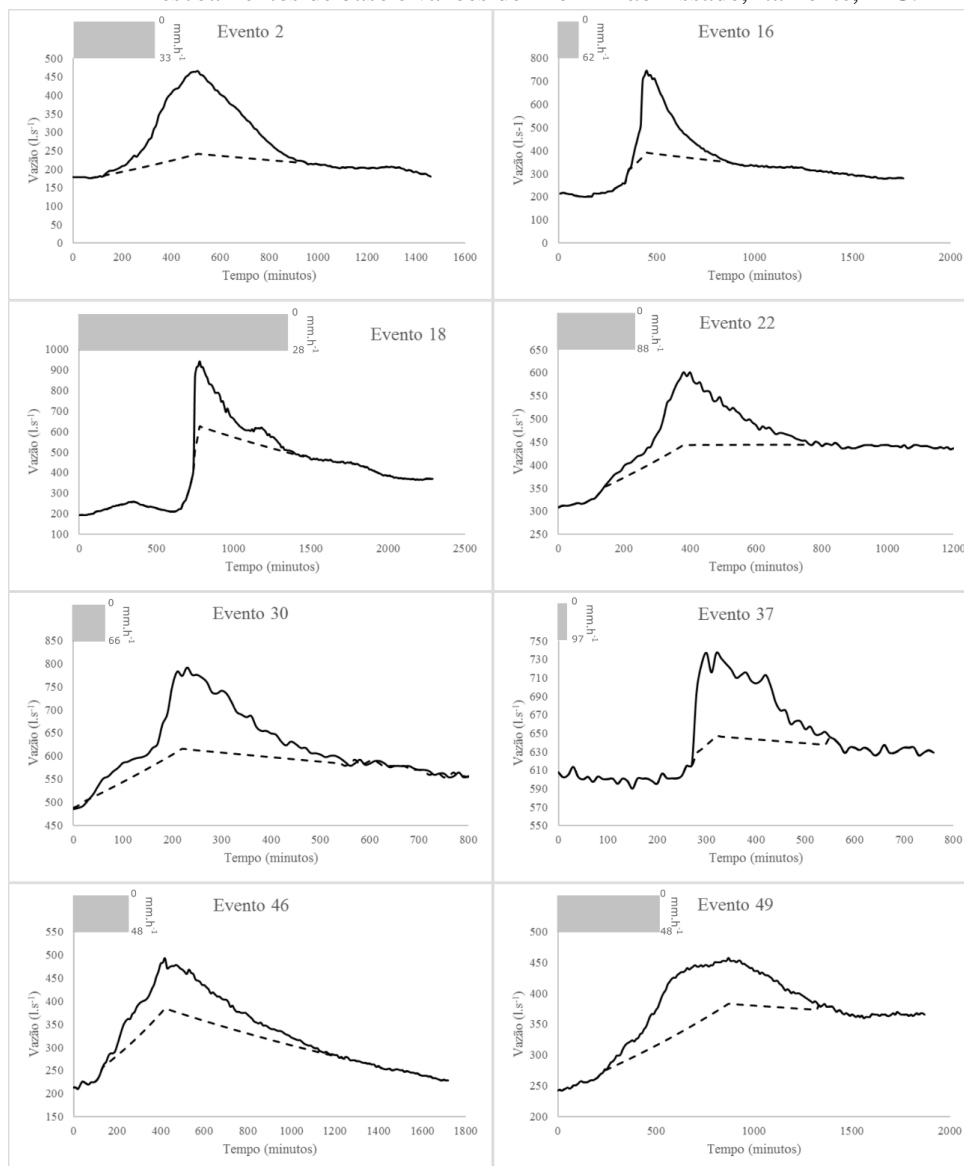
$$Q = 1,0093 * H^{2,0071}$$

Em que:

Q é a vazão do corpo hídrico, em $m^3.s^{-1}$;

H é carga hidráulica sobre o linígrafo, em mca.

Figura 4 Hidrogramas de 8 eventos de precipitação com representação gráfica dos escoamentos de base e vazões do Rio Pinhão Assado, Itamonte, MG.



Fonte: do autor.

O evento 2 pouco contribui com o aumento do escoamento de base após sua recessão e apresentou o maior deflúvio entre os eventos avaliados, o que

pode ser explicado por possível oclusão de poros por ar, tendo em vista que o evento ocorreu no início da estação chuvosa na região, quando o solo ainda estava seco, apresentando mais baixa condutividade hidráulica.

Os eventos 16 e 18 apresentaram ascensões semelhantemente acentuadas. Ambos ocorreram em épocas próximas, porém o segundo apresentou maior contribuição para o escoamento-base após a recessão, o que é explicado por sua maior duração e lâmina precipitada.

O evento 22 apresentou a maior intensidade média entre os avaliados. Apesar de sua curta duração, foi capaz de contribuir significativamente para o aumento do escoamento de base.

O evento 49 apresentou o maior tempo de pico e maior qualidade na infiltração, em função de sua intensidade moderadamente baixa e lâmina total precipitada relativamente alta.

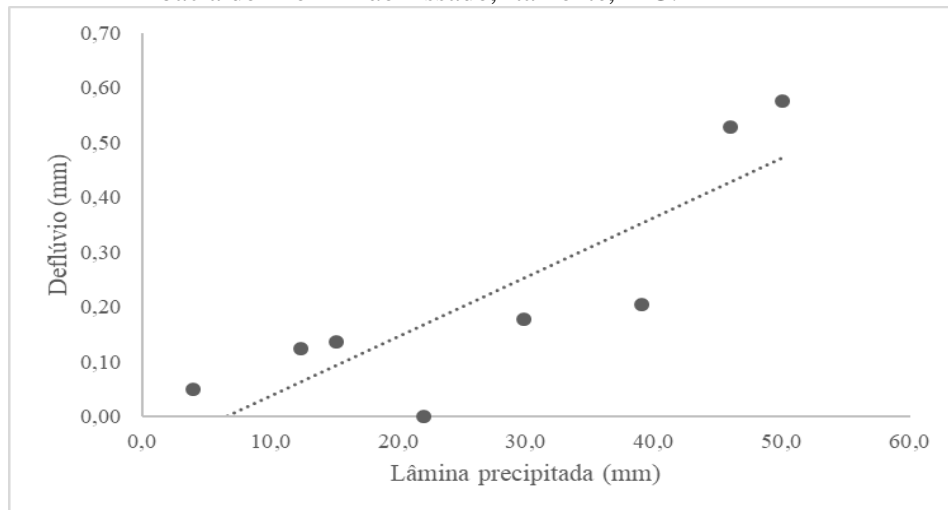
Tabela 2 Lâmina precipitada, duração, intensidade média da precipitação, tempo de pico e deflúvio dos 8 eventos avaliados.

Evento	Data	Lâmina (mm)	Duração (min)	Intensidade média (mm.h¹)	Tp (min)	Deflúvio (mm)
2	30/09/2017	50.0	315	9.52	510	0.58
16	30/10/2017	22.0	385	3.43	450	1.04x10 ⁻³
18	10/11/2017	46.0	1456	1.90	780	0.53
22	20/01/2018	15.2	41	22.12	380	0.14
30	23/01/2018	12.4	50	14.75	230	0.12
37	14/02/2018	4.0	16	14.97	320	0.05
46	19/05/2018	29.8	250	7.14	420	0.18
49	14/06/2018	39.0	481	4.87	870	0.20

Observa-se que existe uma correlação entre a lâmina total precipitada em cada evento e o deflúvio da bacia.

Os valores mais elevados de intensidade média não estão associados aos maiores valores de escoamento superficial, sendo influenciado de forma mais proeminente pelo tempo de duração do evento de precipitação.

Figura 5 Relação entre a lâmina precipitada e o escoamento superficial na bacia do Rio Pinhão Assado, Itamonte, MG.



Um ajuste de reta sobre os pontos obteve um coeficiente de correlação $R^2 = 0,72$, gerando a seguinte equação:

$$D = 0,0109 * L - 0,0723$$

Em que:

D é o deflúvio superficial direto da bacia, em milímetros;

L é a lâmina de precipitação, em milímetros.

Substituindo D por zero na equação acima obtemos:

$$L = \frac{0,0723}{0,0109} = 6,63 \text{ mm}$$

Que é o valor da lâmina associada de precipitação no momento em que o deflúvio superficial da bacia passa a ser notado na seção de controle adotada.

4 CONCLUSÕES

O levantamento mostra expressiva relação entre a lâmina total precipitada em cada evento e o deflúvio estimado.

Os baixos valores de deflúvio encontrados exaltam a importante função da cobertura de Mata Atlântica, que favorece a infiltração contribuindo para a manutenção a longo prazo da vazão do corpo hídrico, além de exercer efeito protetivo contra cheias repentinas nas cotas de jusante.

Os eventos ocorridos durante a estação chuvosa levaram a uma rápida ascensão da vazão do corpo hídrico devido ao fato de o solo mais úmido apresentar menores abstrações iniciais. Assim a água é conduzida mais rapidamente às zonas de afloramento.

O evento ocorrido na estação seca refletiu em suave ascensão de vazão e expressiva contribuição ao escoamento de base.

Os baixos valores de deflúvio superficial observados demonstram a importância da cobertura da mata na perenização dos recursos hídricos e na proteção contra eventos repentinos de cheias nas cotas à jusante.

A grande quantidade de macroporos, de origens morfológicas diversas, existentes nos solos florestais, possui importância expressiva na infiltração da água de chuva e manutenção dos níveis dos aquíferos.

REFERÊNCIAS

- AXIMOFF, I. A.; ALVES, R. G.; RODRIGUES, R. C. Campos de Altitude do Itatiaia: Aspectos ambientais, biológicos e ecológicos. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia nº 8. Itatiaia: ICMBIO, 2014.
- BARNES, B. S. The structure of discharge-recession curves. *Transaction America Geophysical Union*, Part 4, v. 20, n. 4, p. 721-725, 1939.
- BREN, L.; AMATYA, D. M.; WILLIAMS, T. M.; JONG, C. D. An Introduction to Forest Hydrology. New York: CABI Forest Hydrology, 2016.
- BRUIJNZEEL, L. S.; EUGSTER, W.; BURKARD, R.; ANDERSON, M. G. Fog as a Hydrologic Input. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons, 2005.
- BURT, T.; PINAY, G.; MATHESON, F. Water table fluctuations in the riparian zone: comparative results from a pan-European experiment. *Journal of Hydrology*. v. 265, p. 129-148, 2002.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS Release 10.1. California: Redlands, 2012.
- LYON, J. G. GIS for Water Resources and Watershed Management. New York: Taylor and Francis, 2003.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ed. UFLA, 2013.
- MENEZES, C. E. G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. 2008. 164 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 843-858, 2000.
- POMPEU, P. V. Modelagem da distribuição das florestas atlânticas nebulares na Serra da Mantiqueira. 2015. 59 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SANTOS, M. C. N.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; ÁVILA, L. F. Spatial continuity of soil attributes in the Atlantic Forest remnant in the Mantiqueira Range, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 37, n. 1, p. 68-77, Jan./Feb. 2013.

SOSMA. SOS MATA ATLÂNTICA. Relatório de atividades anuais. São Paulo: SOS Mata Atlântica, 2017.

TASSINARI, T. Trilhas turísticas da Serra Fina e Floresta Nacional de Passa Quatro, Caracterização de solos e ambientes. 2019. 64 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.