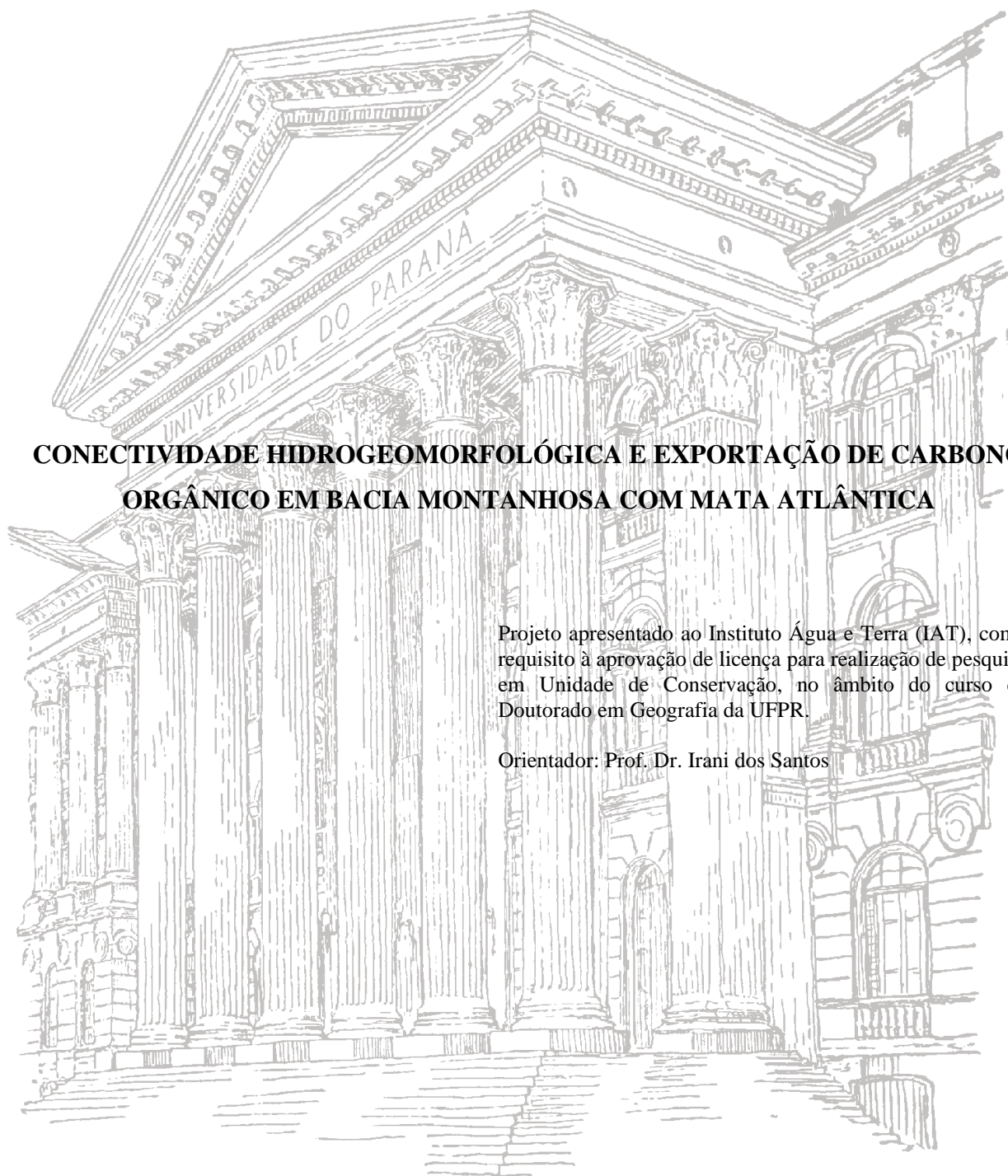


LUCAS JERSZURKI



**CONECTIVIDADE HIDROGEOMORFOLÓGICA E EXPORTAÇÃO DE CARBONO  
ORGÂNICO EM BACIA MONTANHOSA COM MATA ATLÂNTICA**

Projeto apresentado ao Instituto Água e Terra (IAT), como requisito à aprovação de licença para realização de pesquisa em Unidade de Conservação, no âmbito do curso de Doutorado em Geografia da UFPR.

Orientador: Prof. Dr. Irani dos Santos

**CURITIBA**

**2021**

## **1 INTRODUÇÃO**

A conectividade em uma vertente (PRINGLE, 2003), conceito ligado à conectividade de sedimentos (BORSELLI; CASSI; TORRI, 2008) e à conectividade hidrológica (CROKE *et al.*, 2005), corresponde à transferência de água e sedimentos na bacia hidrográfica (BRACKEN; CROKE, 2007). O conceito de conectividade hidrogeomorfológica, utilizado no trabalho de Goerl (2014), remete à hidrogeomorfologia, a qual consiste no estudo das interações entre processos hidrológicos e geomorfológicos (SIDLE; ONDA, 2004). A entrega de escoamento das porções mais altas da bacia para jusante tem relação com o transporte de sedimentos (BRACKEN; CROKE, 2007) e com a transferência de carbono aos rios (STIEGLITZ *et al.*, 2003; SIEFERT; SANTOS, 2018).

O carbono orgânico é concentrado principalmente nos horizontes superficiais do solo (LAL, 2004), compondo o compartimento terrestre do ciclo do carbono juntamente com vegetação e água. Ele pode ser transportado com os sedimentos (SIEFERT; SANTOS, 2018), destacados de uma ou mais áreas fonte e depositados na encosta ou nos cursos d'água (CROKE *et al.*, 2005), ou ser dissolvido no escoamento (SIEFERT; SANTOS, 2018). A transferência de carbono à rede de drenagem na Mata Atlântica é pouco conhecida, mas pode ser relevante para o ciclo do carbono, uma vez que os rios são fontes de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) para a atmosfera (MAYORGA *et al.*, 2005).

A Mata Atlântica, um ambiente rico em matéria orgânica, é um dos maiores biomas do Brasil (IBGE, 2012a), mas pouco estudado em termos de conectividade e transferência de carbono. A floresta apresenta árvores de grande porte e densa cobertura de copas que exercem interceptação e evapotranspiração da água da chuva (ALMEIDA; SOARES, 2003; IBGE, 2012a). É conhecido que esse tipo de vegetação exerce controle na geração de escoamento e erosão (ABRAHAMS; PARSONS; WAINWRIGHT, 1995; ZIEGLER; SUTHERLAND; GIAMBELLUCA, 2001; CHUQUIPIONDO, 2007; FERNANDES *et al.*, 2014), além de aumentar a infiltração e a resistência ao cisalhamento por meio das raízes das plantas (KITTEDGE, 1948, p.215-229; MONGIL-MANSO; NAVARRO-HEVIA; SAN MARTÍN, 2021).

Restam poucas áreas extensas preservadas do bioma de Mata Atlântica, principalmente devido ao desmatamento na ocupação do território brasileiro e pelo extrativismo vegetal (AYRES *et al.*, 2005). As bacias hidrográficas localizadas na região de Serra do Mar que divide o Primeiro Planalto do Litoral Paranaense, são inteiramente cobertas com Mata Atlântica preservada, o que possibilita estudar os processos hidrológicos envolvidos. O balanço hídrico, a conectividade hidrogeomorfológica e a exportação de carbono em bacias hidrográficas montanhosas de Mata Atlântica são pouco compreendidos.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a conectividade hidrogeomorfológica e a dinâmica e exportação de carbono orgânico em bacias experimentais de Mata Atlântica.

## **3 JUSTIFICATIVA**

Apesar de todos os esforços direcionados para as bacias da porção Leste da Serra do Mar Paranaense, devido aos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2011 na região, os quais ocasionaram processos erosivos de movimentos de massa (SILVEIRA *et al.*, 2012; SILVEIRA *et al.*, 2014; PAZ; PAULA, 2021), pouco foi estudado ou monitorado nas bacias hidrográficas onde não foram observados os deslizamentos, principalmente na porção da Serra do Mar inserida na Região Metropolitana de Curitiba.

A conectividade hidrogeomorfológica entre picos montanhosos de rocha aflorada (em torno de 1400 m de altitude), e as porções com Mata Atlântica próximas dos rios (cerca de 1000 m de altitude) é pouco compreendida. Essa lacuna no saber científico impede um aprofundamento no conhecimento sobre a contribuição de água, sedimentos e carbono desses ambientes para os rios à jusante na escala de bacia.

Estudos relacionados a dinâmica hidrogeomorfológica de vertentes montanhosas geralmente avaliam mudanças antrópicas sobre a cobertura do solo no balanço hídrico local, como em Bruijnzeel *et al.* (2006). Por isso, há necessidade de aprofundamento dos estudos ligados à geração de escoamento, erosão, entrega de sedimentos, transferência de carbono e conectividade hidrogeomorfológica em ambientes com presença de Mata Atlântica preservada.

## **4 METODOLOGIA E RESULTADOS ESPERADOS**

### **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo é um conjunto de bacias hidrográficas localizadas na Serra do Mar Paranaense, dentro do Parque Estadual Pico do Marumbi (PARANÁ, 1996). Uma das bacias já foi escolhida, a Bacia do Carvalhinho, com área de 1,14 km<sup>2</sup>, cinco rios de primeira ordem, dois rios de segunda ordem e um rio de terceira ordem, totalizando aproximadamente 3,1 km de comprimento de drenagem. A altitude varia entre 1020 m e 1435 m, com declividades que chegam a ultrapassar 30% (SUDERHSA, 2000a). Outras bacias que possibilitem o monitoramento serão definidas nas proximidades.

Segundo Maack (2012, p. 136), a Serra do Mar Paranaense é composta por falhas transversais oriundas do complexo cristalino, elevando-se significativamente acima tanto do litoral quanto dos planaltos do interior. Ela é composta por vários blocos escarpados elevados que recebem denominações locais. O Morro do Carvalho, que compõem a Bacia do Carvalhinho em sua porção Oeste, drena para a Bacia do Alto Iguaçu.

A constituição geológica é de Complexos Granítico-Gnáissicos nas porções de maior altitude (1435 m), e Complexos Gnáissico-Migmatíticos na porção mais baixa das bacias (1020 m), ambos formados no Proterozóico Inferior (SUDERHSA, 2000a). Os solos são residuais e transportados, compostos por cambissolos háplicos Tb distróficos nas porções mais baixas e por afloramentos de rochas nas porções elevadas (EMBRAPA, 2007).

Segundo a classificação de Koppen-Geiger, o clima local é transição entre Cfb e Cfa, ou seja, entre temperado sem estação seca e com temperatura média do mês mais quente inferior à 22° C, e subtropical com verão quente e temperatura média do mês mais quente superior à

22°C, além de apresentar mais de 30 mm de chuva no mês mais seco (ITCG, 2008; WREGGE *et al.*, 2012).

O uso do solo predominante na área de estudo é floresta nativa. A vegetação é composta pelo bioma de Mata Atlântica, sendo classificada por Floresta Ombrófila Densa Montana na porção próxima de 1000 m de altitude, e Ombrófila Densa Alto-Montana na porção elevada das bacias, próxima dos cumes (ITCG, 2009; IBGE, 2012b). Para Rocha (1999), a altitude de diferenciação de Ombrófila Densa Montana e Alto-Montana no Parque Estadual Pico do Marumbi é de 1200 m. No exutório da Bacia do Carvalhinho, está situado o Reservatório do Carvalho que capta água para abastecimento da Grande Curitiba. Toda a área é de responsabilidade da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná).

O balanço hídrico das bacias será analisado quanto aos recortes das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs) e das subbacias, pois os fenômenos hidrossedimentológicos são restringidos pela escala espacial empregada (EDER *et al.*, 2005). As bacias serão classificadas quanto às HRUs de cada porção do relevo, segundo metodologia de McGlynn e McDonnell (2003), levando em conta também a classificação e as características dos solos, da geologia e os tipos e condições de vegetação.

## MONITORAMENTO

O monitoramento e todos os sensores e equipamentos empregados na pesquisa são mantidos pelo Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG-UFPR) em parceria com a SANEPAR. Os trabalhos de campo são realizados pela equipe do LHG.

Para estimar os principais processos de geração de escoamento nas bacias, será realizado monitoramento de precipitação com pluviômetros e de vazão dos rios com sensores de nível. Os sensores de nível serão instalados em represamentos de água construídos com pequenos vertedouros e em calhas *H-flume*, dispostos no leito dos rios. Dados de interceptação da precipitação e de escoamento de tronco serão cedidos pelo LHG a partir de monitoramento já realizado na área de estudo. Para avaliação da umidade do solo, será empregado sensor WaterMark e sonda TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) modelo TRIME-PICO, da marca IMKO.

Na identificação das áreas fonte de sedimentos, serão empregados turbidímetros instalados em conjunto com sensores de nível nos vertedouros e nas calhas *H-flume* visando a obtenção da carga de sedimentos dos rios. Também serão utilizados amostradores de sedimentos instalados no leito dos rios para coleta acumulada de sedimentos transportados via carga suspensa e do leito.

Visando a caracterização de parâmetros físico-químicos do solo, serão realizados ensaios de coesão com o Teste de Palhetas (*Vanne Tester*), ensaios de infiltração com infiltrômetro de tensão a disco modelo 09.09 *Tension Infiltrometer*, marca *Eijkelkam* (SMETTEM; CLOTHIER, 1989; ANTONINO *et al.*, 2001), medições de profundidade da camada de serrapilheira, espessura dos perfis de solo, coletas de amostras de solo e análises granulométricas em granulômetro laser marca *Microtrac* (CHRISTOFOLETTI; MORENO, 2017), análise do teor de matéria orgânica, textura, densidade, densidade de partículas, porosidade, microporosidade e macroporosidade.

O Teste de Palhetas é normatizado pela ABNT 10905/89 e consiste na inserção de uma haste com aletas fixadas na ponta no interior do solo saturado, e posterior rotação até a ruptura do material (ZIMBONE et al., 1996; TAKKEN et al., 1999). As leituras no corpo da haste são realizadas após a finalização do ensaio, e indicam a resistência ao cisalhamento do solo em condições saturadas pelo escoamento superficial (RAUWS; GOVERS, 1988).

Para quantificação de carbono, serão utilizadas análises de qualidade da água de amostras de precipitação, da água proveniente de escoamento de tronco e interceptação, de escoamento superficial (se possível) e dos rios nos pontos monitorados. Também serão coletadas pequenas amostras de sedimentos acumulados em locais estratégicos. As amostras serão encaminhadas ao LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) para realização das análises.

## MODELAGEM

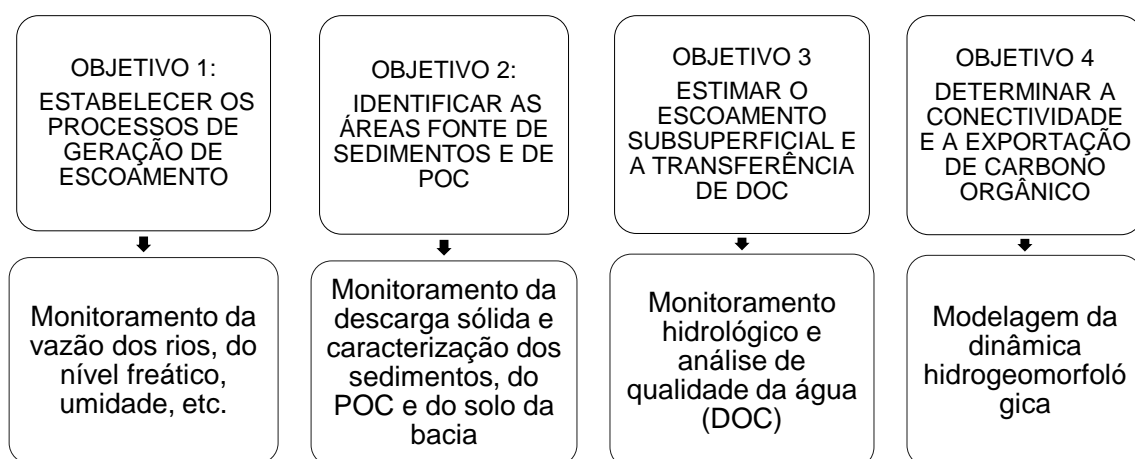
Para a determinação de interceptação, processos erosivos, geração de escoamento superficial, infiltração e armazenamento em superfície, serão realizadas simulações de escoamento e erosão distribuídos nas bacias com o modelo openLISEM. O modelo será calibrado de acordo com os resultados obtidos no monitoramento, com parâmetros obtidos em campo e com estimativas encontradas na bibliografia. Os resultados do monitoramento que poderão auxiliar na calibração serão as séries de vazão e de produção de sedimentos. Os parâmetros obtidos em campo serão a condutividade hidráulica saturada, a coesão do solo, a granulometria dos sedimentos, a profundidade do solo, o índice de área foliar e a altura da vegetação.

A aplicação do modelo openLISEM resultará em imagens de escoamento, velocidade do escoamento, perda de solo, infiltração e interceptação distribuídos para as bacias, além de séries temporais de vazão e produção de sedimentos e totais acumulados de erosão por escoamento, erosão por efeito *splash*, armazenamento em superfície, entre outros.

Outros modelos que considerem o escoamento subsuperficial e a transferência de carbono serão aplicados na modelagem das bacias, pois o openLISEM não estima esses processos.

A síntese dos objetivos específicos e da metodologia pode ser visualizada na Figura 1 a seguir.

FIGURA 1 - ESQUEMA SIMPLIFICADO RELACIONANDO OBJETIVOS ESPECÍFICOS E A METODOLOGIA PROPOSTA



## 5 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

TABELA 1 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DA PESQUISA

	2021	2022	2023	2024	2025
Definição dos pontos de coleta e elaboração dos ensaios	Abril – Dez	Jan - Dez	Jan - Dez	Jan - Dez	
Monitoramento	Jan – Dez	Jan – Dez	Jan - Dez	Jan-Dez	
Análises químicas das amostras de água		Jan – Dez	Jan – Dez	Jan – Dez	
Calibração dos modelos	Abril – Dez	Jan - Dez	Jan - Dez		
Simulações com os modelos		Jan – Dez	Jan - Dez	Jan-Dez	
Comparação dos resultados entre simulação e monitoramento		Jan – Dez	Jan - Dez	Jan-Dez	Jan-Fev

## REFERÊNCIAS

ABRAHAMS, A.D.; PARSONS, A.J.; WAINWRIGHT, J. Effects of vegetation change on interrill runoff and erosion, Walnut Gulch, southern Arizona. **Geomorphology**, v. 13, p. 37-48, 1995.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de Água em Plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ANTONINO, A.C.D.; ÂNGULO-JARAMILLO, R.; SOUZA, E.S.; NETTO, A.M.; CARNEIRO, C.J.G.; MONTENEGRO, A.A.A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, maio/ago. 2001.

AYRES, J.M. et al. **Os Corredores Ecológicos das Florestas Tropicais do Brasil**. Belém/PA: Sociedade Civil Mamirauá, 2005. 256 p. Disponível em: <<http://www.meioambiente.ba.gov.br/arquivos/File/Publicacoes/Cadernos/CorredoresEcologicos.pdf>> Acesso em: 14 jul. 2021.

BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **Catena**, v. 75, p. 268-277, 2008.

BRACKEN, L.J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 1749-1763, 2007.

BRUIJNZEEL, L.A.; BURKARD, R.; CARVAJAL, A.; FRUMAU, A.; KÖHLER, L.; MULLIGAN, M.; SCHELLEKENS, J.; SCHMID, S.; TOBON, C. **Final Technical Report DFID-FRP Project no. R7991. Hydrological impacts of converting tropical montane cloud forest to pasture, with initial reference to northern Costa Rica**. VU University, Amsterdam, jan. 2006.

CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, M.M.T. Granulometria por difração a laser e sua relação com a faciologia das rochas argilosas da Formação Corumbataí-SP. **Cerâmica**, v. 63, n. 367, jul./set. 2017.

CROKE, J.; MOCKLER, S.; FOGARTY, PETER; TAKKEN, I. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. **Geomorphology**, v. 68, p. 257-268, 2005.

CROKE, J.; MOCKLER, S. Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, southeastern Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, Special Issue: Hydrologic and Geomorphic Effects of Forest Roads, v. 26, n. 2, p. 205-217, fev. 2001.

EDER, G.; FUCHS, M.; NACHTNEBEL, H.P.; LOIBL, W. Semi-distributed modelling of the monthly water balance in an alpine catchment. **Hydrological Processes**, v. 19, p. 2339-2360, 2005.

EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Paraná**. Carta MI-514. Escala 1:250.000. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007.

FERNANDES, M.M.; CARVALHO, D.F.; CEDDIA, M.B.; FRANCELINO, M.R. Valoração Ambiental do Efeito Externo da Erosão em duas Sub-Bacias com diferentes percentuais de Mata Atlântica. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 411-420, Uberlândia, Mar./Abr. 2014.

GOERL, R.F. **Evolução da Paisagem e Conectividade Hidrogeomorfológica na Bacia do Rio Cunha – SC**. 142 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012a.

IBGE. **Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006**. Escala 1:5.000.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2012b.

ITCG. **Clima – Estado do Paraná**. Escala 1:2.000.000. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, 2008. Disponível em: <[http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/mapa\\_climas\\_a3.pdf](http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_climas_a3.pdf)> Acesso em: 16 ago. 2021.

ITCG. **Formações Fitogeográficas – Estado do Paraná**. Escala 1:2.000.000. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, 2009. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>> Acesso em: 03 Ago. 2021.

KITTREDGE, JOSEPH. **Forest influences: The effects of Woody Vegetation on Climate, Water, and Soil, with applications to the Conservation of Water and the Control of Floods and Erosion**. Nova Iorque, Toronto, Londres: McGraw-Hill Book Company Inc., 1948.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1-22, 2004.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4º ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MAYORGA, E.; AUFDENKAMPE, A.K.; MASIELLO, C.A.; KRUSCHE, A.V.; HEDGES, J.I.; QUAY, P.D.; RICHEY, J.E.; BROWN, T.A. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers. **Nature**, v. 436, p. 538-541, jul. 2005.

MCGLYNN, B.L.; MCDONNELL, J.J. Role of discrete landscape units in controlling catchment dissolved organic carbon dynamics. **Water Resources Research**, v. 39, n. 4, p. 1-18, 2003.

MONGIL-MANSO, J.; NAVARRO-HEVIA, J.; SAN MARTÍN, R. Does forest restoration influence soil infiltrability? A case study in the restored woodland of Sierra de Ávila (Central Spain). **Journal of Mountain Science**, v. 18, p. 1778-1793, 2021.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Estadual Pico do Marumbi**. Curitiba: IAP, 1996. 128 p.

PAZ, O.L.S.; PAULA, E.V. Planície do Rio Jacareí após os movimentos de massa de 2011: considerações a partir da análise granulométrica de trincheira e mudanças do canal. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 19, n. 1, 2021.

RAUWS, G.; GOVERS, G. Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. **Journal of Soil Science**, v. 39, p. 111-124, 1988.

ROCHA, M.R.L. **Caracterização Fitossociológica e Pedológica de uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Parque Estadual Pico do Marumbi – Morretes, PR**. 1999. 81 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 1999.

SIDLE, R.C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, v.18, p. 597-602, 2004.

SIEFERT, C.A.C.; SANTOS, I. Dinâmica do Carbono Orgânico e Processos Hidrológicos na Escala de Bacia Hidrográfica: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, p. 3-16, 2018.



SILVEIRA, C.T. et al. Análise do Fator de Segurança da Estabilidade das Vertentes na Bacia do Rio Jacaré, Serra do Mar Paranaense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, p. 287-297, Jul./Set. 2012. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/224/303>> Acesso em: 19 jul. 2021.

SILVEIRA, C.T. et al. Mapeamento Preliminar da Suscetibilidade Natural a Movimentos de Massa na Serra do Mar Paranaense apoiado na Análise Digital do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 3-22, Jan./Mar. 2014. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/366>> Acesso em: 19 jul. 2021.

SMETTEM, K.R.J.; CLOTHIER, B.E. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multiple disc permeameters. **Journal of Soil Science**, v. 40, p. 563-568, 1989.

STIEGLITZ, M.; SHAMAN, J.; MCNAMARA, J.; ENGEL, V.; SHANLEY, J.; KLING, G.W. An approach to understanding hydrologic connectivity on the hillslope and the implications for nutrient transport. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 4, p.1-15, 2003.

SUDERHSA. **Geotecnia do Alto Iguaçu**. SUDERHSA, 2000a. Mapeamento em formato *shapefile*. 1:20.000. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>> Acesso em: 16 ago. 2021.

SUDERHSA. **Geologia do Alto Iguaçu**. SUDERHSA, 2000b. Mapeamento em formato *shapefile*. 1:20.000. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>> Acesso em: 16 ago. 2021.

TAKKEN, I.; BEUSELINCK L, NACHTERGAELE, J.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DEGRAER, G. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). **Catena**, v. 37, p. 431-447, 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00031-4)>. Acesso em: 22 Ago. 2019.

WREGGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIO, C.; ALMEIDA, I.R. (eds) **Atlas Climático do Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Brasília/DF: EMBRAPA, 2012.

ZIEGLER, A. D.; SUTHERLAND, R.A.; GIAMBELLUCA, T.W. Acceleration of Horton overland flow and erosion by footpaths in an upland agricultural watershed in Northern Thailand. **Geomorphology**, v. 41, p. 249-262, 2001.

ZIMBONE, S.M.; VICKERS, A.; MORGAN, R.P.C.; VELLA, P. Field investigations of different techniques for measuring surface soil shear strength. **Soil Technology**, v. 9, p. 101-111, maio 1996.