

## **ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM UMA MICROBACIA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM, SOROCABA-SP.**

Caick Marcelo Rosa Martins<sup>1</sup>

Angela Yuri Saito<sup>2</sup>

Bruna Martins da Paixão<sup>3</sup>

Wanessa Monteiro Fernandes<sup>4</sup>

Antonio Cesar Germano Martins<sup>5</sup>

Darllan Collins da Cunha e Silva<sup>6</sup>

### **Ações antrópicas sobre o meio ambiente**

### *Resumo*

O objetivo deste estudo foi mapear e caracterizar a fragilidade ambiental em um trecho da microbacia do rio Pirajibu-Mirim, em Sorocaba-SP em dois períodos distintos, 2013 e 2019. Para a caracterização da fragilidade ambiental foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 e técnicas de geoprocessamento, a partir de adaptações realizadas no método proposto por Ross (1994). Foram estabelecidos pesos às variáveis utilizadas (tipos de solo, declividade e uso do solo) que foram processadas com a técnica de álgebra de mapas no software ArcGIS 10.6. Ocorreu o aumento da fragilidade emergente alta, que abrangia uma área de 122,98 ha (14,49%) no ano de 2013 e passou a ocupar 194,88 ha (22,96%) no ano de 2019, em decorrência da expansão de áreas urbanizadas. Dessa forma, é notável a necessidade de implantação de um plano de uso e manejo sustentável na área, considerando as fragilidades encontradas.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Uso do solo; Urbanização; Vulnerabilidade ambiental.

---

<sup>1</sup> Aluno (o) do Curso do doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", departamento de Engenharia Ambiental, [caick.marcelo@gmail.com](mailto:caick.marcelo@gmail.com).

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", [ang.saito@gmail.com](mailto:ang.saito@gmail.com)

<sup>3</sup> Aluno (a) do Curso do mestrado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", departamento de Engenharia Ambiental, [bruna.martins@unesp.br](mailto:bruna.martins@unesp.br).

<sup>4</sup> Aluno (a) do Curso do mestrado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", departamento de Engenharia Ambiental, [wm.fernandes@unesp.br](mailto:wm.fernandes@unesp.br).

<sup>5</sup> Prof. Dr. do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Campus Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, [antonio.martins@unesp.br](mailto:antonio.martins@unesp.br).

<sup>6</sup> Prof. Dr. do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Campus Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, [darllan.collins@unesp.br](mailto:darllan.collins@unesp.br).



## INTRODUÇÃO

As alterações na dinâmica ambiental provocadas pelos fatores tecnológicos, sociais e econômicos apresentam como resultados as transformações nas paisagens dos territórios e com isso ocorrem mudanças nos níveis de fragilidade ambiental conforme as características locais (PERIÇATO & SOUZA, 2019).

A fragilidade ambiental é caracterizada pela suscetibilidade do ambiente em sofrer intervenções ou de ser alterado. Quando o estado de equilíbrio dinâmico é rompido, o sistema pode entrar em colapso, alterando a sua condição de risco. A desestabilização do meio ou do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais quanto antrópicos (SPORL & ROSS, 2004).

As características que configuram os elementos naturais e a interferência antrópica como relevo (declividade e curvatura), o clima (com ênfase na pluviosidade), tipos de solos e cobertura além do uso da terra são variáveis importantes a serem analisadas nos levantamentos que visam caracterizar a fragilidade ambiental (DEGRANDE & BORTOLUZZI, 2020).

Para melhor compreender o dinamismo do ambiente, o mapeamento da fragilidade permite avaliar as potencialidades do meio de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições. Para isso, a representação pode ser feita através do mapa de fragilidade potencial que permite se analisar de forma conjunta o relevo (declividade) e solo (grau de erodibilidade) e o mapa de fragilidade emergente que traz informações do produto do cruzamento entre a fragilidade potencial com as alterações antrópicas ocorridas no meio, expressa pelo estudo do uso e cobertura da terra (SCHIAVO et al., 2016; PIMENTEL, 2019).

Os mapas de fragilidades são ferramentas utilizadas por órgãos públicos no planejamento territorial ambiental de diferentes escalas e direcionados, sobretudo, para os zoneamentos ambientais e estabelecimentos de unidades de conservação ambiental e de preservação ecológica, sendo essencial a caracterização das condições ambientais (ROSS, 2012).

As bacias hidrográficas caracterizam-se como importantes unidades para estudos

relacionados à fragilidade ambiental, pois a partir de análises particulares de indicadores relacionados aos aspectos físicos influentes no ambiente e do cruzamento entre os mesmos, é possível a compreensão de como os ambientes podem ser explorados sem que o seu equilíbrio e dinâmica sejam alterados (GHEZZI, 2003; CONSTANTINI, 2012).

Entre os fatores que influenciam a ocorrência de mudanças ambientais em bacias hidrográficas, é possível citar, por exemplo, as alterações no uso e ocupação da terra a partir de atividades antrópicas, fragmentações florestais e avanço da área urbana (GHEZZI, 2003; CONSTANTINI, 2012).

Quanto à fragilidade ambiental, as geotecnologias se apresentam como essenciais, pois possuem alta capacidade de coleta e tratamento dos dados, permitindo também suas integrações a partir de uma série de diferentes fontes. Assim, os ambientes podem ser caracterizados e monitorados, sendo possível também a detecção de prováveis impactos (SENA et al., 2012; STORTO & COCATO, 2018).

Desse modo, o objetivo deste estudo foi mapear e caracterizar a fragilidade ambiental em um trecho da microbacia do rio Pirajibu-Mirim, em Sorocaba-SP em dois períodos distintos, 2013 e 2019.

## METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo.

A microbacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim localiza-se no município de Sorocaba-SP, apresenta relevo com serras e morros, inserida na região geomorfológica de transição do Planalto Ocidental Paulista e Depressão Periférica (TARCITANI & BARRELLA, 2009; CORRÊA et al., 2016).

A região apresenta clima úmido, sem estiagem, com temperaturas médias variando entre mínima de 13 °C e máxima de 26 °C e pluviosidade entre 1100mm e 1700mm. A vegetação nativa é de Mata Atlântica composta por Floresta Ombrófila Densa e as Savanas influenciadas pela pressão da ocupação antrópica intensa, encontrando-se hoje bastante alteradas ou até mesmo degradada (TARCITANI & BARRELLA, 2009).

A área de estudo compreende um trecho da região centro-sul da bacia do rio



Pirajibu-Mirim destacada conforme a Figura 01.

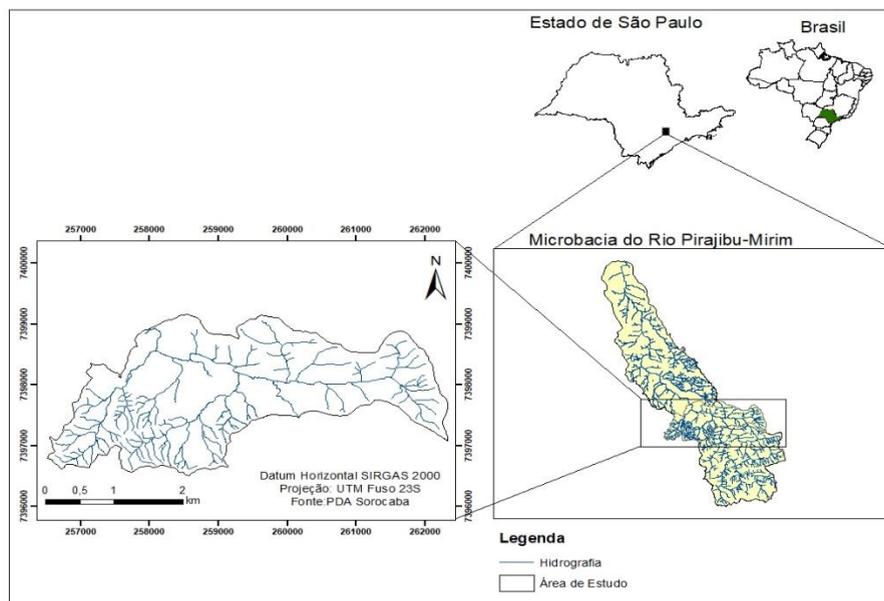


Figura 01: Localização da área de estudo.

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 sensor OLI obtidas gratuitamente junto ao site do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS - United States Geological Survey), disponíveis no endereço eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens utilizadas datam do mês de junho dos anos de 2013 e 2019, com as seguintes características: órbita 219 e ponto 76, com resolução espacial de 30 metros.

Classificação do uso do Solo.

A classificação do uso do solo foi realizada no programa ArcGis.10 nas imagens dos anos de 2013 e 2019 utilizando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança (MaxVer) que é baseado na ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels de cada uma das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

Posteriormente as classificações foram retificadas e assim corrigidas gerando novos polígonos, melhorando a acurácia da classificação com o uso de imagens presentes na plataforma Google Earth. Na classificação do ano de 2013 foram estabelecidas cinco estratificações: Pastagem, Vegetação Florestal, Área Urbana, Solo Exposto e Corpos d'água. Em 2019 além das classes estabelecidas em 2013, foi identificada uma nova

estratificação definida como Reflorestamento (EMBRAPA, 2013).

Foram atribuídos diferentes pesos de acordo com o grau de fragilidade de cada classe de uso do solo através de uma adaptação das classes propostas por Ross (1994) exibidos na Tabela 01.

Tabela 01: Classes de fragilidade do uso do solo e cobertura vegetal.

<b>TIPO DE COBERTURA</b>	<b>GRAU DE FRAGILIDADE</b>	<b>PESO</b>
FLORESTA E ESPELHOS D'ÁGUA	MUITO FRACA	1
PASTAGENS, REFLORESTAMENTOS	FRACA	2
CULTIVOS DE CICLO CURTO	MÉDIA	3
CULTURAS DE CICLO LONGO	FORTE	4
ÁREA URBANA E SOLO EXPOSTO	MUITO FORTE	5

Fonte: Adaptado de Ross(1994)

#### Estimativa de Declividade

A declividade da área de estudo foi estimada no programa Arcgis 10.6 utilizando dados planialtimétricos, pontos cotados e curvas de nível obtidos através do banco de dados do Plano Diretor Ambiental do município de Sorocaba. Na elaboração do mapa de declividade foram utilizadas as classes e pesos propostos por Ross (1994) de acordo com a Tabela 02.

Tabela 02: Classes de fragilidade de declividades

<b>DECLIVIDADE</b>	<b>GRAU DE FRAGILIDADE</b>	<b>PESO</b>
<6%	MUITO FRACA	1
6 A 12%	FRACA	2
12 A 20%	MÉDIA	3
20 A 30%	FORTE	4
> 30%	MUITO FORTE	5

Fonte: Ross(1994)



## Tipos de Solos

Para determinar os tipos de solos presentes na microbacia foi utilizado o Mapeamento Pedológico do Estado de São Paulo realizado por Rossi (2017), obtido em formato shapefile através da plataforma DataGeo disponível no endereço eletrônico <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>.

As classes de grau de fragilidade dos tipos de solos e seus respectivos pesos foram estimados segundo Ross (1994) e Amaral e Ross (2009): Latossolo, fragilidade média, peso 3; Argissolo, fragilidade forte, peso 4 e Neosolos/Gleissolos, fragilidade muito forte, peso 5.

## Estimativa da Fragilidade Potencial e Emergente

Os mapeamentos de declividade e tipos de solo da área de estudo foram sobrepostos a partir da Álgebra de Mapas, utilizando como critérios os pesos atribuídos, que variaram de 1 a 5, gerando o mapeamento da fragilidade potencial. A sobreposição foi realizada através da Calculadora Raster, presente no ArcGIS 10.6, a partir de uma média simples entre as variáveis.

Através da sobreposição do mapeamento da fragilidade potencial com os mapeamentos de uso do solo foram gerados os mapeamentos de fragilidade emergente para os anos de 2013 e 2019, utilizando os mesmos critérios citados anteriormente. Dessa forma, foi possível a comparação entre as fragilidades considerando os dois recortes temporais, permitindo a análise da interferência antrópica sobre o ambiente estudado.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Fragilidade Potencial

Através da combinação entre as variáveis de solo e declividade foi possível a determinação da fragilidade potencial, ou seja, o potencial de suscetibilidade erosiva da bacia conforme as características físicas predominantes. Assim, foram geradas três diferentes classes, sendo que a predominante é a fragilidade potencial alta, que ocupa 427,9 ha (50,42% da área de estudo), seguida pela fragilidade potencial média com 322,99 ha

(38,06% da área) e levemente baixa ocupando 97,7 ha (11,51% da área).

A predominância da fragilidade potencial alta justifica-se pelo tipo de solo existente na área de estudo e, também, pelos altos valores de declividade. As áreas com declividade maior do que 30% são as que apresentam fragilidade potencial alta. Dessa forma configurando que a suscetibilidade erosiva da bacia é em grande parte alta, considerando os seus atributos naturais. Figura 02.

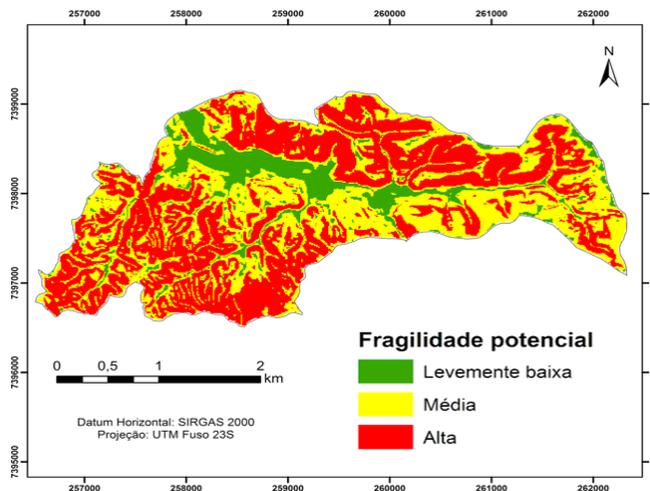


Figura 02: Mapa da Fragilidade Potencial da microbacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim

### Uso do solo

A fragilidade potencial obtida, quando combinada com o mapeamento de uso do solo dos anos de 2013 e 2019, permitiu a determinação da fragilidade emergente da área, ou seja, a fragilidade do ambiente considerando a interferência antrópica.

O uso do solo do ano de 2013 apresentou predominância da classe de pastagem, ocupando 369,06 ha, representando 42,72% da área da bacia, seguindo pela classe de vegetação florestal, com 326,83 ha (37,83%). A área urbanizada concentrava-se principalmente na região noroeste da bacia, contendo em sua extensão a classe de solo exposto, que ocupa 17,8 ha (2,06%). Figura 03.

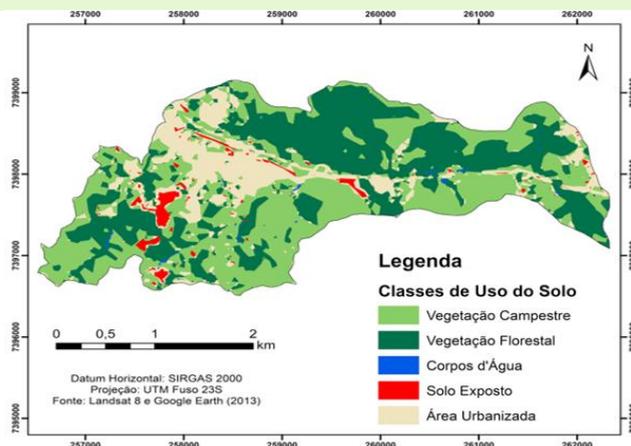


Figura 03. Mapa do Uso do solo da microbacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim, 2013.

Analisando o ano de 2019, a classe vegetação florestal ocupou 311,45 ha sendo 35,95% da área estudada, seguida de pastagem com 309,85 ha (35,71%) e a área urbana apresentou 225,35 ha (26,01%). Solo exposto e corpos d'água apresentaram respectivamente 15,37 ha e 2,42ha correspondendo respectivamente a 1,77% e 0,28 ha. A nova classe adicionada, reflorestamento ocupou 2,22 ha, indicando 0,25 % da área de estudo. Figura 04.

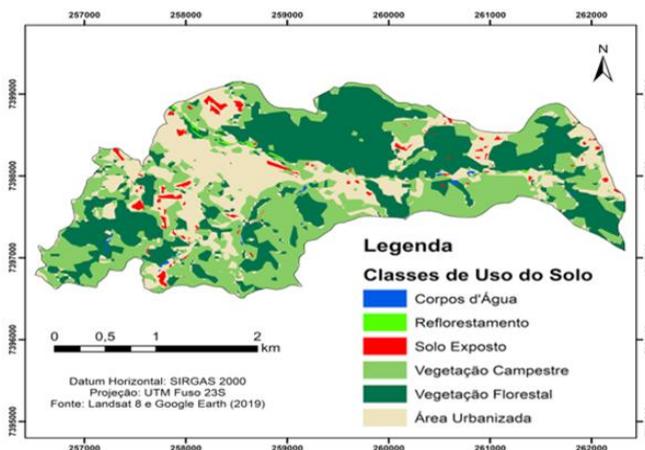


Figura 04: mapa do Uso do solo da microbacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim, 2019.

Comparando os dois períodos pode-se observar que ocorreram alterações quanto ao uso do solo, considerando as interferências antrópicas ocorridas no intervalo temporal apresentado. A área urbanizada se estendeu e foram identificados adensamentos urbanos em áreas urbanizadas de pouca expressividade em 2013, ocasionando a redução de

pastagens, que passaram a ocupar 309,85 ha (35,71%). A classe de solo exposto apresentou redução, ocupando apenas 15,37 ha (1,77%), sendo que a classe de reflorestamento foi identificada em antigas áreas de solo exposto, próximas a Rodovia Raposo Tavares

### **Fragilidade Emergente**

As classes predominantes no ano de 2013 em ordem decrescente são: fragilidade emergente levemente baixa com 491,69ha (57,96%), fragilidade emergente média com 203,80 ha (24,02%), fragilidade emergente alta com 122,98 ha (14,49%) e baixa com 28,84 ha(3,51). As áreas de alta e média fragilidade emergente estão relacionadas diretamente pelas classes de solo exposto e de área urbanizada, como apresentado no mapa da Figura 05.

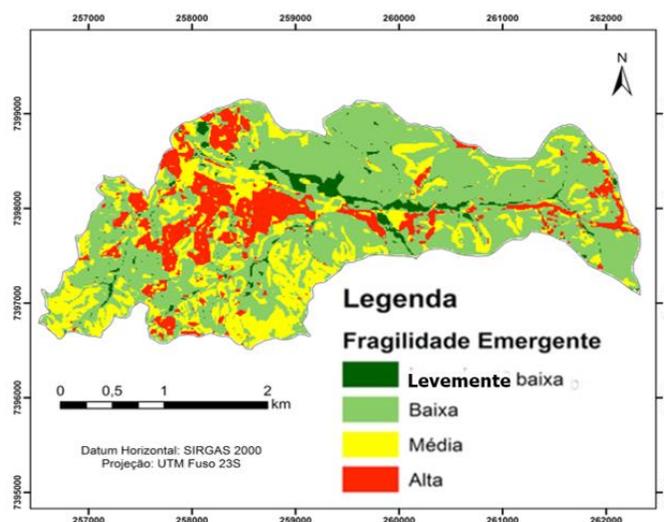


Figura 05: Fragilidade Emergente da microbacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim, 2013.

Ao analisar a fragilidade emergente do ano de 2019 as classes predominantes em ordem decrescente são: fragilidade emergente levemente baixa com 432,92ha (51,37%), fragilidade emergente alta com 194,88 ha (22,93%), fragilidade emergente média com 185,63 ha (21,87%) e fragilidade baixa com 32,09 ha (3,78), os quais se encontram ilustrados na Figura 06.

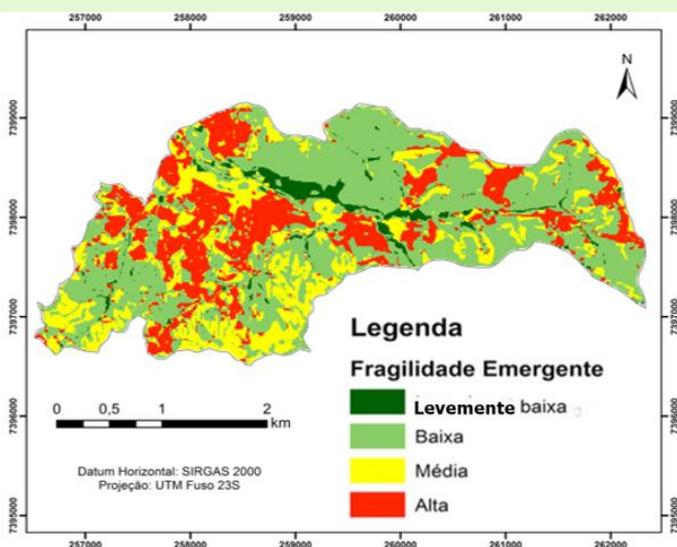


Figura 06: Fragilidade Emergente da microbacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim, 2013.

A situação das áreas de alta e média fragilidade emergente continuam ligadas diretamente pelas classes do solo exposto e área urbanizada, porém para o ano de 2019, a influência da área urbanizada para o resultado é ainda mais significativa do que a classe do solo exposto.

Pode-se notar que ocorreu um aumento da presença da fragilidade emergente alta, diminuição da fragilidade média e da fragilidade levemente baixa e aumento pouco significativo da fragilidade emergente baixa. O aumento da fragilidade emergente alta identificado ao comparar os dois períodos analisados, pode ser justificado pela expansão das áreas urbanizadas, conforme descrito por Soares (2019) que analisando a mesma região identificou a intensificação da degradação ambiental em função da expansão urbana.

A redução das fragilidades média e levemente baixa, pode ser justificado pela perda de áreas de pastagem e vegetação florestal devido à expansão urbana, corroborando com Corrêa et al. (2017) que estudando a mesma microbacia identificaram o crescimento da área urbana em contrapartida da diminuição das áreas de vegetação.

O surgimento da estratificação reflorestamento na classificação do ano de 2019 influenciou no aumento da baixa fragilidade, podendo ser utilizado como estratégia para a diminuição das pressões ambientais dentro da microbacia.

## CONCLUSÕES

É possível concluir que houve o aumento da fragilidade emergente alta na área da microbacia, comparando os anos de 2013 e 2019. Esse panorama é resultante, principalmente, do avanço urbano frente à vegetação natural do ambiente. Assim, torna-se possível uma maior percepção de como a ação antrópica altera as condições do ambiente conforme a ocupação do uso do solo, que se mostra inadequada em grande parte da bacia, considerando as características físicas encontradas.

Os resultados obtidos indicam a necessidade de implantação de um plano de uso e manejo sustentável na área, considerando as fragilidades encontradas.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, R.; ROSS, J.L.S. As Unidades Ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno Teodoro Sampaio - SP. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, p. 59 - 78, 2009.

CONSTANTINI ML, ZACCARELLI N, MANDRONE S, ROSSI D, CALIZZA E, ROSSI L. NDVI spatial pattern and the potential fragility of mixed forested areas in volcanic lake watersheds. **Forest Ecology and Management**. p. 133-141, 2012.

CORRÊA, C.J.P; TONELLO,K.L; FRANCO, F.S. O plano diretor influencia na produção de serviços ambientais? um estudo de caso na microbacia do Pirajibu-mirim, em Sorocaba, SP. **The Brazilian Journal of Environmental Sciences**. n.45, p.115-129, 2017.

CORRÊA, C. J. P.; TONELLO, K. C.; FRANCO, F. S. Análise hidroambiental da microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**. v. 11, n. 4, p. 943-953, 2016.

DEGRANDE, E.J.S.; BOTTOLUZZI, L.N. Análise da fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia hidrográfica do córrego da Onça em Presidente Prudente-SP. **Geografia em questão**. v.13, n.03, p.33-50, 2020.

Empresa Brasileira de Agropecuária Brasileira - EMBRAPA. Manual técnico de uso do solo. Volume 7. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

GHEZZI, A. O. Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Bahia de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento. Dissertação. Universidade Federal do Paraná/UFPR; 64p., 2003.

PERIÇATO, A. J.; SOUZA, M.L. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. **Caderno de Geografia**, v.29, n.59, p.1064-1082, 2019.



PIMENTEL, T.B. **Fragilidade potencial e emergente do relevo de Vitória-ES: subsídios para gestão de riscos e desastres em ambiente urbano.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Espírito Santo. 64p., 2019.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n° 8, 1994.

ROSS, J.L.S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, volume especial de 30 anos, p38-51, 2012.

ROSSI, M. 2017. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p.

SCHIAVO, B.N.V.; HENTZ, A.M.K.; CORTE, A.P.; SANQUETTA, C.R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** v. 20, p. 464-474, 2016.

SENA, F. T. N; SANTIAGO NETO, B. J.; LEITE, A. C. S. Uso do geoprocessamento como subsídio à análise ambiental: imagem SRTM na geração dos mapas hipsométrico e de declividade das bacias difusas da barragem de Boa Esperança no estado do Piauí. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife -PE, 2012, p. 001 - 005.

SOARES, A.L. Metodologia de pressão-estado-impacto-resposta aplicada no estudo de avaliação ambiental da bacia hidrográfica do Alto de Sorocaba. Dissertação. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. UNESP. 87f, 2019.

SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Geosp - Espaço e Tempo**. p. 39-49, 2004.

STORTO, C.; COCATO, G. P. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá - PR. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11. n.5. p. 1694 – 1708, 2018.

TARCITANI, F. C.; BARRELLA, W. (2009). Conhecimento Etnoictiológico dos Pescadores Desportivos do Trecho Superior da Bacia do Rio Sorocaba. **Revista Eletrônica de Biologia**, São Paulo. v.2. n.2. p.1-28, 2009.