



ANAIS

AValiação DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO MOGI COM USO DA GEOTECNOLOGIA

ERIK GERALDO DA SILVA SOUZA

erik.souza@unesp.br

UNESP

MARCELO GIROTTTO REBELATO

mgiroto@fcav.unesp.br

FCAV-UNESP

RESUMO: O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo avaliar a fragilidade ambiental de forma empírica da Bacia Hidrográfica do Baixo Mogi, por meio da utilização da geotecnologia. Para isso, foi realizada a coleta e agregação dos dados pertinentes a área de estudo sobre a declividade, pluviometria, pedologia e uso e ocupação do solo. O processamento feito pela metodologia adotada foi realizado em ambiente de sistemas de informações geográficas mediante a ponderação das variáveis empregadas com a sobreposição dos planos de informação para a definição da fragilidade potencial e emergente. Os resultados expõem que os graus de fragilidade médio e alto são os principais presentes na bacia, tendo uma variação entre o mapeamento de fragilidade potencial e emergente. Como conclusão, é evidente que a diferença entre os tipos de fragilidade está relacionada sobretudo às ações antrópicas associadas a agricultura, apresentadas pela carta de uso e ocupação do solo. Os modelos geraram informações importantes, servindo como ferramenta para o gerenciamento e planejamento territorial da região.

PALAVRAS CHAVE: fragilidade ambiental, geotecnologias, bacia hidrográfica.

ABSTRACT: The present research work aims to evaluate the environmental fragility in an empirical way of the Baixo Mogi Watershed, using geotechnology. For this, the collection and aggregation of data pertinent to the study area on the slope, rainfall, pedology and land use and occupation was carried out. The processing performed by the adopted methodology was carried out in an environment of geographic information systems by weighting the variables used with the overlapping of the information plans to define the potential and emerging fragility. The results show that the medium and high degrees of fragility are the main ones present in the watershed, with a variation between the mapping of potential and emerging fragility. In conclusion, it is evident that the difference between the types of fragility is mainly related to anthropic actions associated to agriculture, presented by the land use and occupation chart. The models generated important information, serving as a tool for management and territorial planning of region.

KEY WORDS: environmental fragility, geotechnologies, watershed.

ANAIS

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental, a utilização de recursos naturais e a geração e rejeito de resíduos, especialmente por parte das indústrias, geram preocupações no que se refere às ações humanas sobre o meio ambiente. Diferentes impactos causam distúrbios na natureza, a depender da fragilidade de cada ambiente, sobretudo no que se diz respeito às bacias hidrográficas. A suscetibilidade característica da qual uma bacia hidrográfica está contida é determinada através de aspectos como relevo, geologia e tipo de solo, o que por sua vez, são propriedades que as caracterizam como elemento de manejo ambiental (ANDRADE et al., 2018).

Nesse sentido, estudos foram desenvolvidos para avaliar, qualitativa e quantitativamente, os impactos antrópicos. Dentre eles, os relacionados à fragilidade ambiental são relevantes para o planejamento de ações gerenciais. Nesse contexto, Reggiani e Hassanizadeh (2016), afirmam que as bacias hidrográficas são reconhecidas como a menor unidade ambiental para tais ações. Portanto, é necessário utilizar a tecnologia existente e criar novos métodos para a avaliação ambiental da fragilidade de bacias hidrográficas.

Para a realização de estudos ambientais é necessário selecionar métodos de análises que forneçam dados e informações e produção de diagnósticos que possam ser interpretados e efetivamente aplicados às políticas públicas quanto ao planejamento e gerenciamento territorial (ADAMI et al., 2012). Com isso, o uso da geotecnologia facilita e traz vantagens para a avaliação ambiental, pois as informações geradas são de qualidade e precisas, além da extrema eficiência e clareza. Nos últimos anos, com o aumento tecnológico e abordagens da quarta revolução industrial, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) têm sido utilizado em pesquisas ambientais por fornecer ótima flexibilidade no gerenciamento e análises de informações espaciais, possibilitando agregar conhecimento ecológico com informações integradas que estão sendo melhoradas para atender aos requisitos do agronegócio 4.0.

Dessa forma, a elaboração do mapa de fragilidade ambiental possibilita analisar o potencial do meio ambiente, igualando suas restrições com seus atributos naturais, sendo ainda um instrumento de grande importância e utilização para os órgãos públicos e privados quanto a produção do planejamento territorial e da ocupação e utilização do solo (FRANCO et al., 2012; KAWAKUBO et al., 2005). No entanto, para se obter eficácia, tal planejamento deve levar em consideração a sensibilidade à degradação ambiental, fiscalizando processos que impactam, de modo direto, a distribuição de produtos e serviços ambientais, tal como perda de biodiversidade, erosão do solo e assoreamento de cursos de água (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

O mapeamento da fragilidade ambiental, principalmente de bacias hidrográficas, possui vários métodos de elaboração. Dentre estes, a metodologia proposta por Ross (1994), é muito utilizada por diversos autores, inclusive nos dias atuais, por ser uma técnica empírica para determinar a fragilidade de ambientes naturais e antrópicos, sendo baseada na ideia das unidades ecodinâmicas de Tricart. Valle, Francelino e Pinheiro (2016), afirmam que essa metodologia de planejamento territorial concentra múltiplos critérios de fragilidade em unidades ecodinâmicas estáveis (instabilidade potencial) e unidades ecodinâmicas instáveis (instabilidade emergente), em que o mapa de fragilidade potencial caracteriza elementos inerentes à paisagem e o mapa de fragilidade emergente também leva em conta a cobertura do

ANAIS

solo e atividades antrópicas. Em complemento, Kawakubo et al. (2005) definem fragilidade potencial como a vulnerabilidade natural de um ambiente em termos de características físicas, baseado na declividade e tipo do solo, enquanto a fragilidade emergente inclui essas características e também considera o grau de proteção de diferentes tipos de uso e ocupação do solo. A partir dos mapas de fragilidade potencial e emergente é possível distinguir as limitações ambientais, possibilitando aprimorar os parâmetros de preservação da paisagem e organização territorial. Além disso, fornece a oportunidade de simular os impactos e a ocupação porvir (TAVARES, 2006).

No mapa de fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica os dados são analisados integralmente, resultando em um produto que apresenta vários graus de fragilidade de um ambiente de acordo com seus atributos, de modo a identificar e classificar os locais em que a bacia sofre com os impactos ambientais, classificando tais localidades em diversos níveis de fragilidade (KAWAKUBO et al., 2005; MANFRÉ et al., 2013).

Diante das atividades antrópicas que alteram o meio ambiente e impactam diretamente em sua qualidade, as atividades relacionadas à produção de açúcar e etanol contribuem na degradação ecológica, tanto nas práticas industriais quanto nas agrícolas. A indústria sucroenergética utiliza muito de um recurso natural, a água, além de gerar resíduos e descartá-los de várias formas. As práticas agrícolas fazem uso intensivo do solo e durante a entressafra o deixa exposto. Isso faz com que a ideia de sustentabilidade desse tipo de processo seja incerta, abrindo ao mesmo tempo, oportunidades de estudo.

O processamento da cana-de-açúcar está presente na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, podendo ter impactado seu sistema natural e agravado a degradação ambiental. Além disso, esta bacia atende a alguns municípios, tanto na captação de água para o abastecimento da população, quanto no descarte de efluentes. Outro aspecto que colabora com a fragilidade desta área são suas próprias propriedades físicas. Portanto, para a elaboração de um plano gerenciamento ambiental é necessário analisar não só as intervenções humanas, mas incluir as características físicas da área.

Assim, devido as atividades humanas, à urbanização e outros fatores de interferência, a distribuição territorial e a estruturação espacial tem promovido mudanças significativas à bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. Além do mais, o estudo da área é uma importante maneira de compreensão da relação entre o ambiente natural e as ações antrópicas, por meio da análise dinâmica das mudanças e fragilidade ao longo da bacia e entendimento das causas.

Diante do exposto, o objetivo desse estudo é analisar, a partir do uso da geotecnologia, a fragilidade ambiental à erosão do compartimento Baixo Mogi da bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu, fornecendo informações para ações de gerenciamento e planejamento ambiental e distribuição territorial e regional. Este estudo justifica-se pela importância da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, principalmente no compartimento do Baixo Mogi, para os municípios presentes nesta área, e para o estado de São Paulo.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1. Caracterização da área em estudo

ANAIS

A área de estudo corresponde ao compartimento Baixo Mogi da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (figura 1). Em âmbito federal, esta bacia pertence à Região Hidrográfica do Paraná, que é constituída pela bacia hidrográfica do Rio Paraná, situada no território nacional. Em âmbito estadual, ela pertence ao estado de São Paulo e constitui a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 09 (UGRHI 09), localizada a noroeste do estado.

Sua posição geográfica está na latitude 21°66'44"S e longitude 48°53'75W e altitude de 608 m. Sua área corresponde a aproximadamente 3.910,67 Km², e atende à uma população de 354.647 habitantes. A bacia hidrográfica do Baixo Mogi (BHBM), também atende a 14 indústrias do setor sucroenergético totalmente contidas em sua área e mais 8 usina próximas aos seus limites territoriais, tanto na captação de água quanto no despejo de resíduos. Além disso, a bacia ainda possui vários canais de vinhaça ao longo de sua extensão, que é utilizada para a fertirrigação.

A BHBM, abrange em seu território 22 cidades, onde, 7 estão totalmente contidas, 3 com sede parcialmente contida, 4 com sede totalmente contida e 8 somente com área rural contida. Sendo assim, é de grande importância manter sua qualidade ambiental, pois essa bacia sofre impactos ambientais por interferência das atividades humanas apresentando alterações em suas condições naturais, como a poluição dos mananciais hídricos, a degradação dos solos e da cobertura vegetal e atividades agropecuárias, onde a agricultura é responsável por ocupar 86,02% da área, tendo como principal cultura a cana-de-açúcar. Ademais, o restante de seu território está dividido em 10,18% de cobertura nativa, 0,45% de silvicultura, 0,49% de pastagem, 2,12% de área urbanizada e 0,74% de outras áreas não vegetadas (solo exposto e rodovias).

Em 1994, o estado de São Paulo foi dividido em 22 UGRHIs, sendo que a BHBM faz parte da UGRHI 09, que faz divisa com outras 6 UGRHI: Piracicaba/Capivari/Jundiá; Tietê/Jacaré; Tietê/Batalha; Turvo/Grande; Baixo Pardo/Grande e Pardo (BRASIL,1994; FEHIDRO, 2011). A BHBM está na região hidrográfica do Paraná, de acordo com a Resolução nº 32 do CNRH (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003).

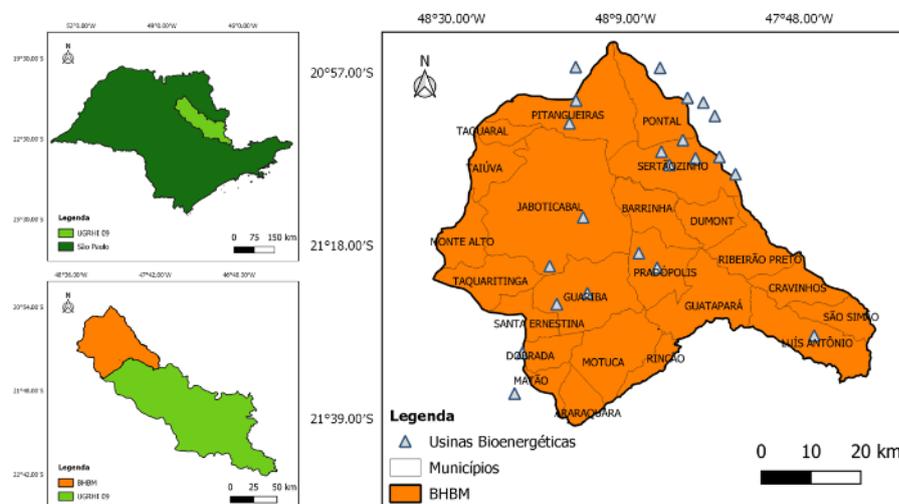


Figura 1- Localização da BHBM, em relação ao estado de São Paulo e a UGRHI 09

Fonte: Autores (2020)

ANAIS

2.2. Aquisição e avaliação das informações

O estudo baseado no método de pesquisa de Bezerra, Silva e Sales (2016), foi elaborado em etapas, sendo elas: 1) levantamento bibliográfico; 2) coleta de dados espaciais; 3) georeferenciamento e recorte para elaboração do planos de informação (PI); aplicação de média aritmética aos PIs; 4) álgebra de mapas; 5) criação do mapa de vulnerabilidade emergente; 6) criação do mapa de vulnerabilidade potencial; 7) análise de resultados.

Após o estudo literário, a coleta dos dados foi especificamente realizada para a análise da fragilidade potencial e emergente, avaliando as classes de declividade, pedologia, pluviosidade e uso e ocupação do solo. Todo o processo de preparação das informações cartográficas foram feitos em ambiente de geoprocessamento, a partir do *software* QGIS versão 3.10.2 A Coruña, o qual é um programa computacional de código aberto, desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Todos os PIs foram georeferenciados no sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 23S.

2.2.1. Dados geomorfológicos

Para a elaboração da carta geomorfológica e análise das diferentes formas de relevo, o PI de declividade se deu a partir do modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 30m, fornecido pelo INPE (2011), por meio da plataforma de banco de dados Topodata. Então, foi utilizado a ferramenta *slope* do QGIS e em seguida, o PI foi discretizado conforme os limites de declividade apresentados por Ross (1994), e as classes de declividades propostas por Bezerra, Silva e Sales (2016), conforme tabela 1.

Tabela 1 - Categorias hierárquicas de declividade

Categorias Hierárquicas	Declividade (%)	Classe de Declividade
1 - Muito Baixa	< 6%	Plano
2 – Baixa	6 a 12%	Suave Ondulado
3 – Média	12 a 20%	Ondulado
4 – Forte	20 a 30%	Forte Ondulado
5 - Muito Forte	> 30%	Montanhoso Escarpado

Fonte: Elaboração própria, com base em Bezerra, Silva e Sales (2016) e Ross (1994)

2.2.2. Dados pluviométricos

As informações pluviométricas e de precipitações foram obtidas do sítio eletrônico do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em formato vetorial, correspondente às isoietas médias anuais de 1977 a 2006. O PI foi convertido do formato vetorial para o formato raster, e realizado a interpolação dos dados pelo método Inverso do Peso da Distância (IDW), permitindo assim a sobreposição da avaliação da fragilidade ambiental. Por fim, o mapa pluviométrico foi classificado conforme as categorias de interferência de preservação ambiental apresentados por Ross (2012), conforme tabela 2.

ANAIS

Tabela 2 - Níveis Hierárquicos dos Comportamentos Pluviométricos

Categorias Hierárquicas	Características Pluviométricas
1 – Muito Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano.
2 – Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.
3 – Média	Situação pluviométrica distribuição irregular, com período seco entre dois e três meses no inverno e período com alta intensidade de chuva entre Dezembro e Março, com volumes anuais entre 1300 e 1600 mm/ano.
4 – Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.
5 – Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido).

Fonte: Ross (2012)

A região climática genérica da BHCP, é integrante da zona Tropical Brasil Central, seu clima é classificado como quente, com média maior que 18°C em todos os meses do ano, e semi-úmido com seca de 4 a 5 meses. A pluviometria da bacia possui média anual de precipitação de 1400 a 1500 mm, havendo maior quantidade de chuvas durante o verão, no período de Dezembro a Março, com distribuição desproporcional e amena no restante do ano. Dessa maneira, sua classificação é equivalente ao nível 3 da tabela 2.

Assim, foi criado o mapa digital em formato matricial com valor constante de 3, correspondente à categoria hierárquica de nível médio de fragilidade.

2.2.3. Dados de uso e ocupação do solo

Para a elaboração do PI de uso e ocupação do solo, os dados utilizados foram extraídos de maneira gratuita da plataforma MapBiomas, o qual é um sistema que utiliza do *Google Earth Engine*, com processamento em nuvem e classificadores automatizados, desenvolvidos para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. As informações obtidas são referentes a 2018. Após a aquisição do dados, o PI foi recortado de acordo com os limites da área em estudo e discretizado para atender às categorias hierárquicas, descritas na tabela 3, conforme Adami et al. (2012) e Ross (1994).

ANAIS

Tabela 3 - Categorias hierárquicas de uso e ocupação do solo

Categorias Hierárquicas	Uso e Ocupação do Solo
1 – Muito Baixa	Corpos hídricos Formação florestal Floresta plantada
2 – Baixa	Infraestrutura urbana Formação savânica Formação campestre
3 – Média	Cultura semi-perene Pastagem
4 – Forte	Cultura perene
5 – Muito Forte	Área não vegetada (solo exposto)

Fonte: Elaboração própria, com base em Adami et al. (2012) e Ross (1994)

2.2.4. Dados pedológicos

As informações de pedologia da BIBM foram adquiridas do IBGE (2001), e os processos erosivos foram classificados de acordo com os dados de categorização do tipo de solo, fornecidos por Kawakubo et al. (2005), e Valle, Francelino e Pinheiro (2016), de acordo com a tabela 4.

Tabela 4 - Categorias hierárquicas de tipos de solo

Categorias Hierárquicas	Tipos de Solo	Siglas
1 – Muito Baixa	Latossolo Vermelho Distrófico	LVAd1
1 - Baixa	Latossolo Vermelho Ditrófico	LVAd18
4 – Forte	Agrissolo Vermelho Eutrófico	PVAd1
5 – Muito Forte	Agrissolo Vermelho Eutrófico + Neossolo Quartzarênico Órtico	PVAd1+CX

Fonte: Elaboração própria, com base em Kawakubo et al. (2005), e Valle, Francelino e Pinheiro (2016)

2.3. Elaboração dos PIs de fragilidade

A metodologia adotada para a elaboração dos mapas de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Baixo Mogi, foi a proposta por Ross (2012), em que é necessário somar os dados dos atributos de cada item (pedologia, pluviometria, geomorfologia e uso e ocupação do solo), os quais são expressos por cinco níveis de fragilidade ambiental. Para isso, foi utilizado uma tabela de dupla entrada, e por fim, todos os PIs foram convertidos para o formato raster, resultando em mapas de fragilidade para cada tema. Em seguida, os mapas temáticos de fragilidade foram sobrepostos, utilizando a álgebra de mapas através do cálculo realizado pela Calculadora Raster do QGIS, somando os valores hierárquicos relacionados aos pixels das camadas.

A elaboração da carta de fragilidade potencial foi obtida pela sobreposição dos PIs intermediários, fragilidade de inclinação do terreno, dos tipos de solo e da precipitação. Já a carta de fragilidade emergente se deu a partir da sobreposição do mapa de fragilidade potencial com o mapa de fragilidade do uso e ocupação da terra. Para tanto, os cálculos de união dos PIs para a avaliação ambiental, tanto potencial, quanto emergente, foram classificados e feito uma somatória simples dos valores associados aos *grids* dos PI, como apresentado pela tabela 5.

ANAIS

Tabela 5 - Soma das pontuações e definição das classes de Fragilidade Potencial e Emergente

Pontuações (A + B + C) / 3	=	(Fragilidade Potencial + D) / 2	=	Fragilidade Emergente	Descrição das Classes
(1 + 1 + 1) / 3	=	(1 + 1) / 2	=	1	Muito Baixa
(2 + 2 + 2) / 3	=	(1,1 a 2) / 2	=	1,1 a 2	Baixa
(3 + 3 + 3) / 3	=	(2,1 a 3) / 2	=	2,1 a 3	Média
(4 + 4 + 4) / 3	=	(3,1 a 4) / 2	=	3,1 a 4	Forte
(5 + 5 + 5) / 3	=	(4,1 a 5) / 2	=	4,1 a 5	Muito Forte

A = Pluviosidade; B = Declividade; C = Pedologia; D = Uso e ocupação do solo

Fonte: Autores (2020)

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Planos de informações temáticos

A pluviometria da BIBM (figura 2a), apresenta uma amplitude de precipitação de 100 mm ano⁻¹, em que a isoieta de maior intensidade (1500 mm), está na região nordeste da bacia, abrangendo os municípios de Pontal e Sertãozinho, já a isoieta de menor intensidade (1400 mm), está na região sudoeste da bacia, presente nos territórios dos municípios de Dobrada, Matão e Arraquara. Com isso, a erosividade é influenciada pela quantidade total de precipitação, intensidade pluviométrica e distribuição sazonal da chuva, as quais influenciam diretamente no efeito de enxurrada ou *runoff* (TONIOLO, SILVA e LOURENÇO, 2019), uma vez que o valor da erosividade para a BIBM é de 7.789 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹.

Quanto a declividade (figura 2b), a área da BIBM, possui inclinação média de 5,67%, com mínima de 0,20% e máxima de 77,45%. A proporção das classes de inclinação presentes são divididas em, 1.052,36 km² (26,91%) plano, 1.984,27 km² (50,74%) suave ondulado, 708,22 km² (18,11%) ondulado, 142,74 km² (3,65%) forte ondulado e 23,07 km² (0,59%) montanhoso escarpado. Bezerra, Silva e Sales (2016), afirmam que áreas mais planas proporcionam maior infiltração de água no solo, dificultando o escoamento superficial e diminuindo a erosão laminar. No entanto, à medida que a declividade do solo é maior, o oposto acontece, ou seja, o grau de erosão laminar no solo é mais elevado, causando voçorocas, sulcos e ravinas.

Os tipos de solo presentes nesta bacia (figura 2c), são compostos pelas classes, Latossolo Vermelho Distroférico (LVd18) com 62,56% (2.446,32 km²), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd1) com 27,04% (1.057,29 km²), Agrissolo Vermelho Eutrófico (PVAd1) com 7,47% (291,97 km²) e Agrissolo Vermelho-amarelo eutrófico mais Neosso Quartizarênico Órtico (PVAd1 + CXbd) com 2,94% (115,09 km²). A erosão destes tipos de solo é classificada conforme seu valor de erodibilidade (K), ou seja, quanto maior o fator K, maior será sua fragilidade à erosão. Conforme apontado por Mannigel et al. (2002), o valor médio K destes tipos de solo são: LVd18 = 0,0071 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; LVd1 = 0,0061 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; PVAd1 = 0,0228; PVAd1 + CXbd = 0,0838 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹.

Já o uso e ocupação do solo da área (figura 2d) é bastante variado, estando presentes faixas naturais quanto de intervenção humana. Os tipos mais notáveis de uso e ocupação do solo presentes na BIBM são agricultura com 85,80% (3.350,43 km²), florestas com 6,90% (270 km²), vegetação arbustiva e pastagem com 4,22% (164,90 km²), infraestrutura urbana com

ANAIS

2,56% (99,97 km²), corpos d'água com 0,42% (16,56 km²) e solo exposto e outras áreas não vegetadas com 0,22% (8,80 km²).

De acordo com Silva e Machado (2014), as regiões florestais tem maior cobertura, ajudando a manter o solo seguro aos impactos causados pela chuva. Áreas de pastagem e vegetação arbustiva são menos densas, o que aumenta a degradação do solo. Logo, as superfícies que contém solo exposto e áreas não vegetadas, são ainda mais frágeis à erosão.

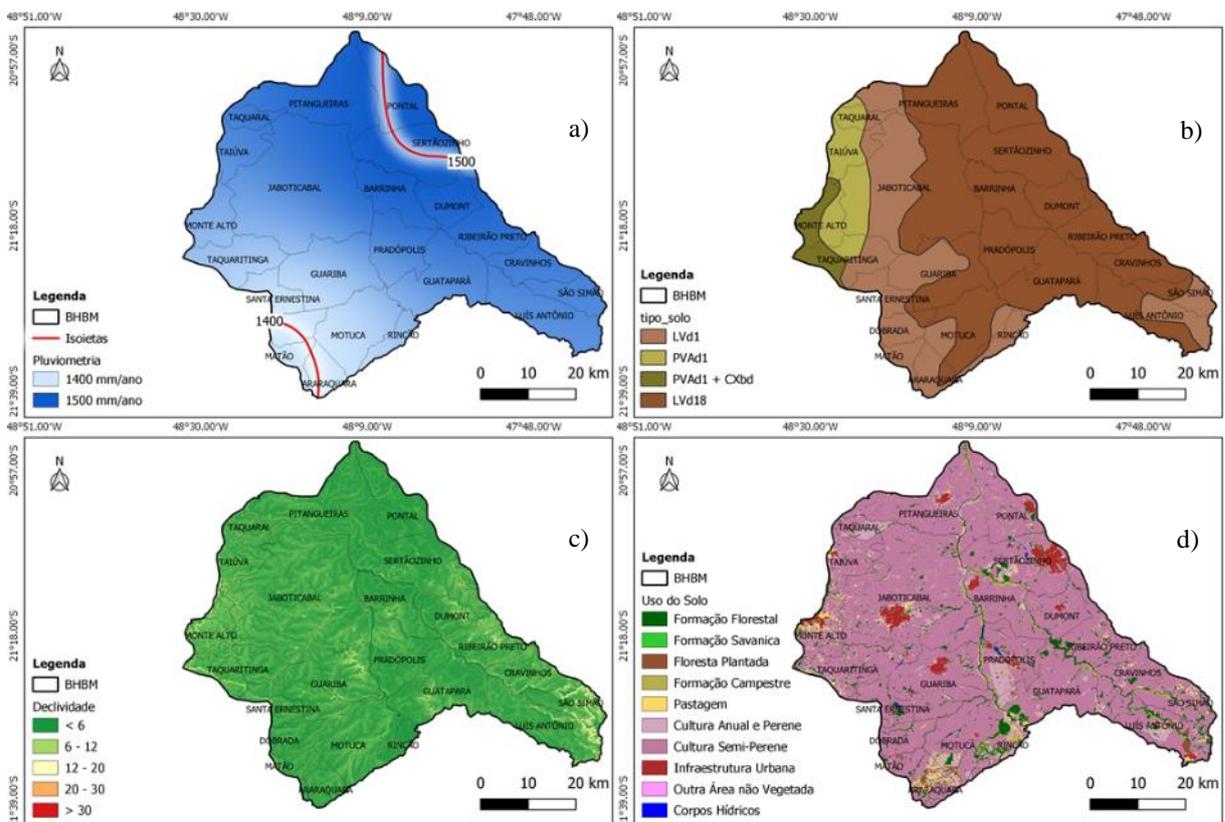


Figura 2 - Mapas temáticos da BIBM
Fonte: Autores (2020)

3.2. Planos de informações de fragilidade

Após a delimitação dos PIs de fragilidade potencial (figura 3) e emergente (figura 4), foi possível notar que ambos não apresentaram áreas com risco ambiental com fragilidade muito baixa. Para o PI de fragilidade potencial, as classificações que prevalecem são baixa e média. Já para o PI de fragilidade emergente, a predominância está na categoria média.

ANAIS

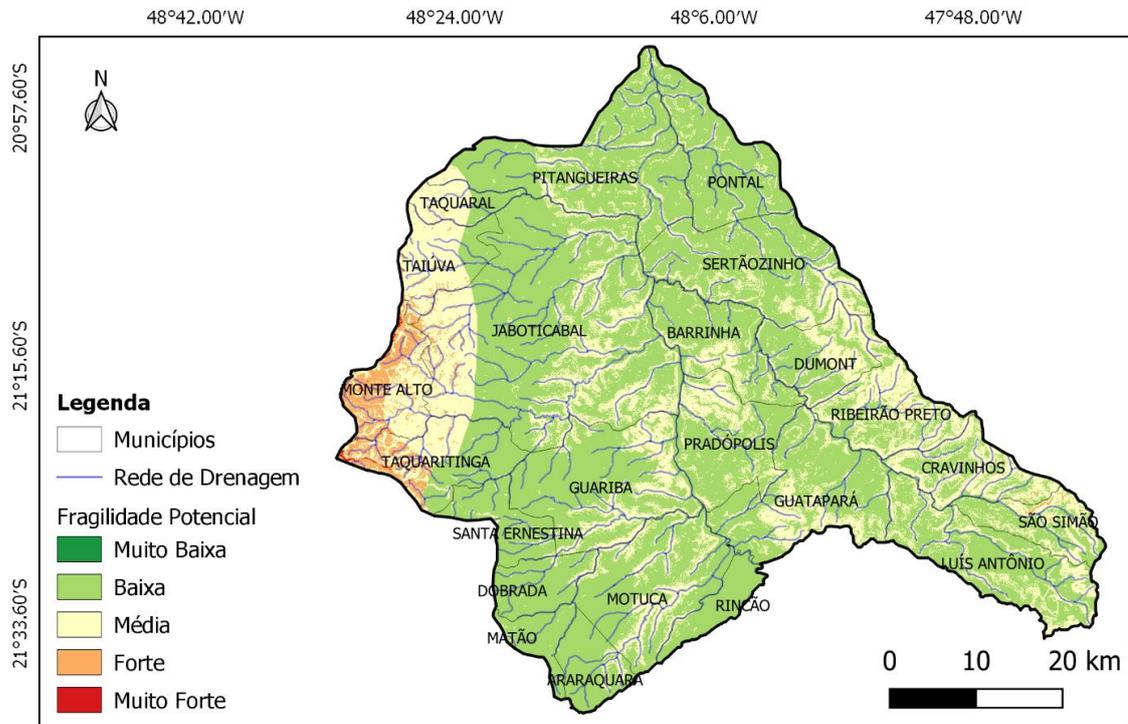


Figura 3 - Mapa de fragilidade potencial da BIBM
Fonte: Autores (2020)

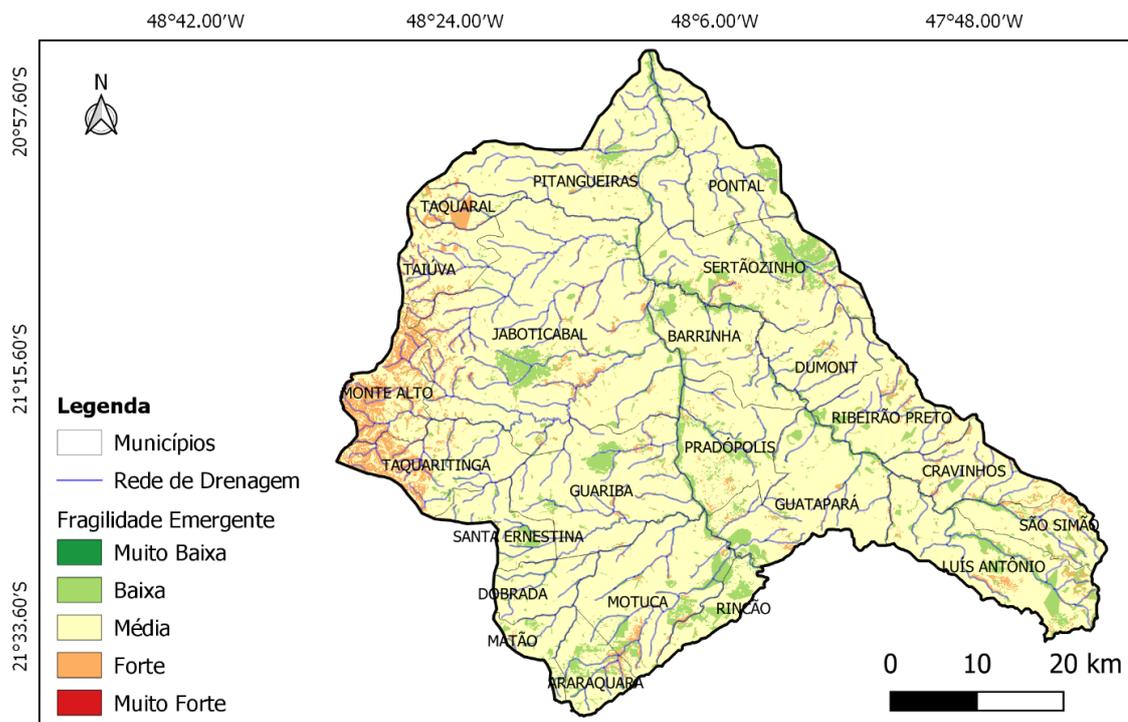


Figura 4 - Mapa de fragilidade emergente da BIBM
Fonte: Autores (2020)

ANAIS

A carta de fragilidade potencial da BHBM é composta por 66,96% de nível de fragilidade baixa, equivalente a 2.618,74 km²; 29,47% de nível médio, equivalente a 1.152,43 km²; 3,05% de nível forte, equivalente a 119,35 km² e 0,52% com nível muito forte, equivalente a 20,15 km². Em contrapartida, a carta de fragilidade emergente, é constituída por 11,24% com nível de fragilidade baixa, equivalente a 439,62 km²; 82,07% com nível médio, equivalente a 3.209,49 km²; 6,21% com nível forte, equivalente a 242,77 km² e 0,48% com nível muito forte, equivalente a 18,79 km². O gráfico 1 apresenta as diferenças entre as áreas em km² das classificações dos PIs de fragilidade potencial e emergente da BHBM.

10

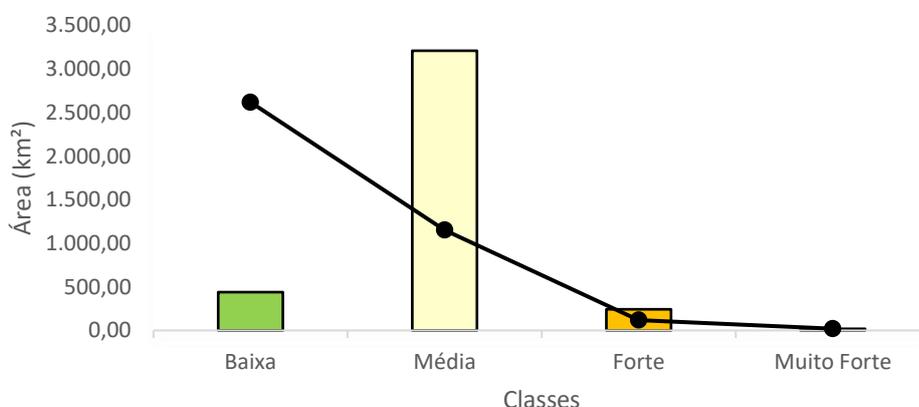


Figura 5 - Distribuição emergente (barras) e potencial (linha) das classes de fragilidade
Fonte: Autores (2020)

Tanto para a análise da fragilidade potencial quanto da fragilidade emergente, as áreas classificadas como muito forte possuem predomínio de relevo mais íngreme combinado com o tipo de solo com maior fragilidade à erosão (PVAd1 + CXbd), presentes nos limites da bacia, no território dos municípios de Monte Alto e Taquaritinga (região oeste), onde atinge a declividade máxima da área, de 77,46%. Nesta mesma demarcação está presente a maior fração da classe forte de fragilidade, que nesse caso, é de total influência do solo que compõe a região.

Quando avaliado a fragilidade potencial da bacia, nota-se que a maior parte é composta pelo nível baixo de fragilidade, isso se dá devido aos tipos de solo presentes, que foram classificados como muito baixo (LVd1) com 27,36% (1.069,96 km²) e como baixo (LVd18) com 62,56% (2.446,52 km²). Já para as áreas de fragilidade média, dois fatores influenciam esta condição, o solo (PVAd1), que foi classificado com fragilidade forte, correspondente à 292,13 km² (7,47%) do total da delimitação da bacia, presente no ponto oeste da bacia, abrangendo parcialmente os municípios de Pitangueiras, Taquaral, Taiúva, Jaboticabal, Monte Alto e Taquaritinga, e a maior declividade do terreno nas regiões, central, leste e sudeste. Do mesmo modo, quanto as áreas de forte fragilidade, como foi citado anteriormente em relação ao ponto oeste da BHBM, alguns pontos isolados à sudeste, principalmente no município de São Simão e outros pontos menores em Cravinhos, Ribeirão Preto e Dumont, apresentam a mesma classe de fragilidade, entretanto isso ocorre graças à inclinação mais elevada do terreno.

Por outro lado, o PI de fragilidade emergente demonstra menor proporção do nível

ANAIS

baixo, presente onde o solo é ocupado por áreas urbanas e por formações florestais que estão presentes principalmente às margens do Rio Mogi Guaçu e do Ribeirão da Onça, tendo destaque também a sul do mapa, nas divisas entre as cidades de Guatapar, Motuca e Rincão que possui uma grade área composta por florestas. Quanto à fragilidade média, observa-se que abrange a maior fração da extensão da bacia, uma vez que é resultado da agricultura, especialmente do cultivo da cultura da cana-de-augar. Os pontos de fragilidade forte, com excesso da região oeste onde o tipo do solo é a principal causa, decorrem pela exposição do solo e falta de vegetação, com destaque a um maior ponto localizado em Taquaral.

É importante ressaltar que as áreas urbanas foram classificadas com nível baixo de fragilidade nesse estudo, seguindo a argumentação de Adami et al. (2012), a qual refere que as áreas de consolidação urbana possuem alto grau de vedo de águas, cobrindo completamente o solo, resultando em um alto nível de proteção da terra. Em contra partida, há contestações verificadas em outros estudos. Silva e Machado (2014), por exemplo, classificaram essas regiões com fragilidade muito forte, justificando-se em razão do aumento dos processos erosivos causados pela compactação e impermeabilização do solo.

Por fim, foram feitas algumas visitações em campo, em pontos de fragilidade alta, possibilitando a observação de elementos de degradação ambiental que não são detectados a partir da avaliação de imagens de satélites, tais como, canais de vinhaa, taludes construídos sem proteção geotécnica e cobertura vegetal, edificações com muros indicando movimento do solo, árvores inclinadas e de raízes expostas com risco de tombamento, galpões abandonados servindo como abrigo para moradores de rua e praças sendo utilizadas como repositório para resíduos sólidos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o modelo elaborado, a área da BIBM apresentou diferenças entre os resultados dos PIs de fragilidade potencial e emergente, principalmente nos nível hierárquicos baixo e médio. Isso mostra que as atividades antrópicas, sobretudo a agricultura e o cultivo da cana-de-augar na área tem grande influência a suscetibilidade de riscos  erosão laminar. A reprodução da fragilidade ambiental como resultado do conjunto das diferentes cartas intermediárias permitiu um cunho abrangente a avaliação das condições ambientais relativas aos elementos restringentes ao uso e ocupação do solo, necessário para o planejamento territorial da bacia hidrográfica.

A utilização da geotecnologia para avaliação empírica da fragilidade ambiental territorial, apresentou eficácia, oferecendo informações válidas, confiáveis e condizentes com as propriedades físicas da BIBM. O geoprocessamento  uma ferramenta que tem aptidão para comparar vários aspectos ordenadamente de acordo com sua importância e proporcionar dados autênticos  realidade.

Desse modo, é um importante instrumento que contribui para o gerenciamento e planejamento ambiental de bacias hidrográficas por meio da representação da fragilidade e da suscetibilidade natural  erosão, uso agrícola e florestal. O desenvolvimento e amadurecimento dessas ferramentas permite uma análise cada vez melhor, por delimitação das áreas de preservação e expansão urbana.

ANAIS

As cartas de fragilidade expostas por esse estudo foram suficientes para apontar, de forma simplificada e tangível, as verdadeiras ameaças ambientais. Contudo, para pesquisas mais profundas e precisas sugere-se a utilização de métodos mais avançados que possibilitem a ponderação dos fatores, como a quantificação da erosão laminar, por exemplo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se uma análise de avaliação da fragilidade ambiental mais detalhada que leve em consideração os impactos causados pelos processos provenientes da cana-de-açúcar, como a aplicação de produtos herbicidas, entre outros, bem como os danos provocados pela indústria na geração e destinação de seus resíduos, levando em conta a importância socioambiental e econômica da região pro país por abranger diversas usinas bioenergéticas.

12

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, S. F. et al. Environmental fragility and susceptibility mapping using geographic information systems: applications on Ribeirão do Pinhal watershed (Limeira, State of São Paulo). **Acta Scientiarum**, p. 433-440, 2012.

ANDRADE, M. M. et al. Determinação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica pertencente ao município de Presidente Prudente, SP. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, p. 278-285, 2018.

BEZERRA, A. B.; SILVA, L. T. M. S.; SALES, L. G. L. Uso de Geotecnologias para o mapeamento da Fragilidade Ambiental da SubBacia do Rio Piancó, PB. **Anais I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**. Campina Grande, PB. 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7.663, de 30/12/91, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo, 1994. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1994/lei-9034-27.12.1994.html>. Acesso em: 15 jul. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. **Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003**. Brasília, DF, 2003.

IBGE - EMBRAPA - **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000.

FEHIDRO. **Plano da Bacia Hidrográfica**: 2008-2011. São Paulo: CETESB, 2011. 170 p.

FRANCO, G. B. et al. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, p. 114-127, 2012.

GOMES, R. L.; MARQUES, E. A. G.; FRANCO, G. B. Aptidão da bacia Hidrográfica do Rio Almada diante da implantação de áreas para disposição ambiental de rejeitos. **Eng. Sanit. Ambient.**, p. 731-747, 2017.

INPE. Topodata. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos, SP, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em 20 jul. 2020.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO R. G.; CAMPOS K. C.; LUCHIARI A.; ROSS J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos. Goiânia: INPE; 2005. p. 2203-2210.

MANFRÉ, L. A.; SILVA, A. M.; URBANO, R. C.; RODGERS, J. 2013. Environmental fragility evaluation and



ANAIS

guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). **Environmental Earth Sciences**, 69; 947-957. 2013.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator de erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

REGGIANI, P.; HASSANIZADEH, S. M. Megascala thermodynamics in the presence of a conservative field: The watershed case. **Adv. Water Resour**, p. 73-86, 2016.

ROSS J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 38-51, 2012.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.

TAVARES, J. A. **Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Punaú (RN) e área litorânea adjacente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. 178p, 2006.

TONIOLO, B. P.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. Uso de geotecnologias para delimitação de susceptibilidade erosiva na Unidade de Negócio Oeste SABESP. **Anais III Simpósio Brasileiro Online de Gestão Urbana**. 2019. p. 489-502.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016.