



Uso de Geotecnologias para Delimitação de Susceptibilidade Erosiva na Unidade de Negócio Oeste SABESP

Use of Geotechnologies for Erosive Susceptibility Delimitation at Oeste SABESP Business Unit

*Uso de Geotecnologías para la Delimitación de la Susceptibilidad Erosiva en la Unidad de
Negocio SABESP de Oeste*

Bruno Pereira Toniolo

Mestrando, UNESP Sorocaba, Brasil
btoniolo@sabesp.com.br

Darllan Collins da Cunha e Silva

Professor Doutor, UNESP Registro, Brasil
darllan.collins@unesp.br

Roberto Wagner Lourenço

Professor Doutor, UNESP Sorocaba, Brasil
roberto.lourenco@unesp.br

**RESUMO**

Esta pesquisa objetiva estipular a vulnerabilidade ambiental na Unidade de Negócio Oeste (MO) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) em forma de mapa temático pelo software QGIS. Agentes que influenciam processos de erosão – pedologia, pluviometria, declividade do terreno e uso do solo – foram inseridos através de comandos para a elaboração dos cinco ranges de fragilidade, a gerar o Mapa de Vulnerabilidade Potencial (MVP) e o Mapa de Vulnerabilidade Emergente (MVE). Os resultados mostraram que cerca de 98% da MO está enquadrada nas zonas de alto ou médio risco ambiental devido a maior carga das áreas antrópicas. Os mapas forneceram informações de importância notável para o planejamento ambiental, a servir como subsídio para os analistas da companhia tomarem decisões mais eficientes sobre a implantação de obras ou empreendimentos em regiões de alta fragilidade ecossistêmica.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento, QGIS, Fragilidade Ambiental, Susceptibilidade Erosiva, Erosão.

ABSTRACT

This research aims to stipulate the environmental vulnerability in the West Business Unit (MO) of the São Paulo State Basic Sanitation Company (SABESP) in the form of a thematic map by the QGIS software. Agents that influence erosion processes - pedology, rainfall, terrain slope and land use - were entered through commands for the elaboration of the five fragility ranges, generating the Potential Vulnerability Map (PVM) and the Emerging Vulnerability Map (EVM). The results showed that about 98% of the OM is framed in high or medium environmental risk zones due to the higher load of anthropic areas. The maps provided data of remarkable importance for environmental planning, as a basis for company analysts to make more efficient decisions about the implementation of works or projects in regions of high ecosystem fragility.

KEYWORDS: Geoprocessing, QGIS, Environmental Fragility, Erosive Susceptibility, Erosion.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo estipular la vulnerabilidad ambiental en la Unidad de Negocio del Oeste (MO) de la Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo (SABESP) en forma de un mapa temático por el software QGIS. Los agentes que influyen en los procesos de erosión (pedología, lluvia, pendiente del terreno y uso de la tierra) se ingresaron a través de comandos para la elaboración de los cinco rangos de fragilidad, generando el Mapa de Vulnerabilidad Potencial (MVP) y el Mapa de Vulnerabilidad Emergente (MVE). Los resultados mostraron que alrededor del 98% del MO está enmarcado en zonas de riesgo ambiental alto o medio debido a la mayor carga de áreas antrópicas. Los mapas proporcionaron datos de notable importancia para la planificación ambiental, como base para que los analistas de la empresa tomen decisiones más eficientes sobre la implementación de obras o proyectos en regiones de alta fragilidad del ecosistema.

PALABRAS CLAVE: Geoprociamiento, QGIS, Fragilidad ambiental, Susceptibilidad erosiva, Erosión.



1. INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade do século XX vem crescendo a preocupação da sociedade sobre as mudanças do meio ambiente, em escala global, relacionadas à degradação do ecossistema e as práticas de execução insustentáveis. Devido ao uso desenfreado dos recursos naturais comprometer a sustentabilidade da terra, a comunidade agora depende da preservação comedida dos recursos do meio ambiente (RUSCHEL, 2000).

Segundo SPORL (2004), a vulnerabilidade ambiental é a susceptibilidade do ambiente sofrer intervenções por determinados agentes. Quando o balanço dinâmico é quebrado, o sistema entra em colapso, posicionando-se em modo de risco. O sistema desestabilizado pode ocorrer tanto por processos naturais – elevadas declividades, alta erodibilidade e intensa pluviosidade – e antrópicos – uso incorreto da terra, solo exposto e alteração em corpos hídricos.

A fragilidade potencial leva em conta somente os fatores físicos como tipo de solo, declividade, geologia, precipitação etc. Já a fragilidade emergente é a soma da fragilidade potencial com o elemento humano, determinado a sociedade usa a terra.

A diversidade de tipos de solos (pedologia) e sua distribuição geográfica alteram a eficiência das ocupações de terra e na força dos impactos ambientais. Já a inclinação do terreno é outro agente determinante no processo erosivo do solo, podendo acelerá-lo dependendo do grau da declividade. Contudo, os dois fatores devem ser analisados de forma conjunta e não isolada para se evitar ponderações imprecisas sobre o grau de erodibilidade (PADILHA, 2013).

Assim, análise da erosividade do solo serve como artifício para os administradores públicos elaborarem o planejamento territorial e zoneamento ambiental, pois o mapeamento mostra as oportunidades do meio ambiente conciliando suas propriedades naturais com suas limitações (BEZERRA et al., 2016).

Uma região sofre diversos distúrbios antropogênicos como fragmentação florestal, assentamento de moradias em mananciais, impermeabilização de solo exposto, desenvolvimento urbano periférico, áreas verdejantes degradadas pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, entre outros (PADILHA, 2013).

A identificação de fraquezas ambientais, potenciais e emergentes, melhoram a definição de critérios de conservação da paisagem e ordenamento territorial, além de simular projeções de degradação e ocupação para cenários futuros (TAVARES, 2006).

De acordo com JENSEN (2009), o uso do Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é fundamental para a análise do risco ambiental à erosão, uma vez que subsidia o planejamento e monitoramento das áreas degradadas, possibilitando a implantação de medidas mitigadoras. Frente aos estados dinâmicos de balanço e desbalanço do meio ambiente, ROSS (1994) desenvolveu uma categoria nominal de fragilidade por índices: (1) muito baixa, (2) baixa, (3) média, (4) alta e (5) muito alta, a indicar que cada variável – uso solo, pedologia, inclinação e precipitação –, seja hierarquizada de acordo com seu risco ambiental.

Logo, este artigo objetiva mapear as áreas de maior e menor vulnerabilidade ambiental, na elaboração de dois mapas temáticos: Mapa de Vulnerabilidade Potencial para as variáveis pedologia, inclinação e precipitação, e Mapa de Vulnerabilidade Emergente a adicionar o uso da terra, na Unidade de Negócio Oeste (MO) da SABESP.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde a Unidade de Negócio Oeste e está localizada na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Trata-se de uma das 16 Unidades de Negócio da Sabesp que integra a Diretoria Metropolitana, respondendo pela operação dos serviços de saneamento básico dos municípios de Barueri, Santana de Parnaíba, Pirapora do Bom Jesus, Cotia, Vargem Grande Paulista, Itapevi, Carapicuíba, Jandira, Osasco, Taboão da Serra e parte de São Paulo (bairros do Morumbi, Jaguaré, Campo Limpo, Pirajussara e Butantã).

Esta unidade foi criada em 1996, possui uma área de 1035,84 km², e atende atualmente a uma população de 3,5 milhões de clientes, operando os sistemas de distribuição de água e coleta de esgotos. Caracterizada pela expansão e crescimento contínuo, a região Oeste conta com um sistema composto por 11,7 mil km de redes de distribuição e ramais de água, 7,1 mil km de rede de coleta e ramais de esgoto, cerca de 916 mil ligações de água e 611 mil ligações de esgotos (SABESP, 2017).

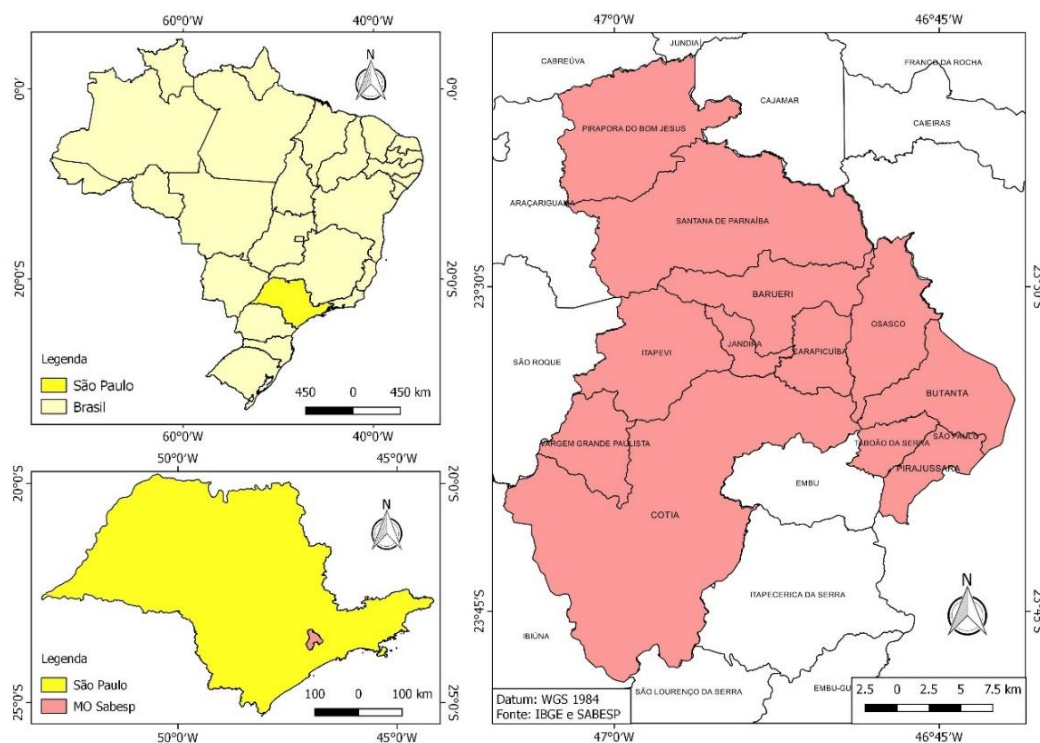


Figura 1. Unidade de Negócio Oeste MO da Sabesp, situada na RMSP – Brasil.

Fonte: Autores (2019)

2.2. Coleta e análise de dados

O estudo foi baseado na metodologia de BEZERRA et al. (2016), conforme mostra a Figura 2 a indicar as etapas realizadas.

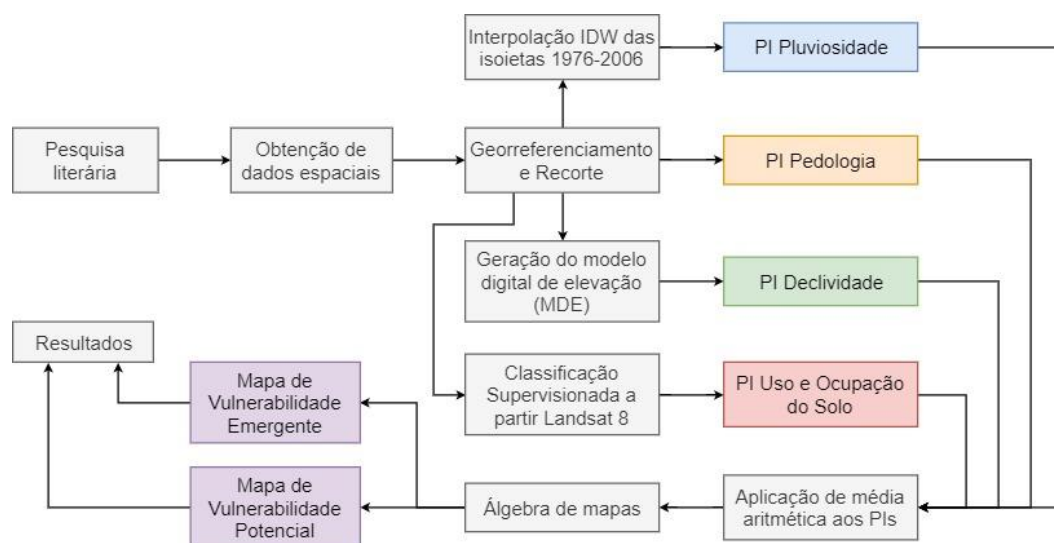


Figura 2. Fluxograma simplificado das etapas realizadas para o estudo de caso.

Fonte: Autores (2019)

Os planos de informação (PI) usados como diretrizes para a elaboração das classes de vulnerabilidade são os elencados a seguir: precipitação média anual (mm/ano) em formato vetorial – obtida no site eletrônico do Serviço Geológico do Brasil (CPRM); declividade do relevo (%) em formato raster (INPE, 2011); pedologia (EMBRAPA, 2006) em formato vetorial e uso do solo em imagem de satélite Landsat 8 de Novembro de 2017 (USGS, 2017). O *software* utilizado para todo o processo foi QGIS versão 2.14 Las Palmas.

Os PIs foram georreferenciados no sistema de coordenadas SAD69 Fuso 23 (EPSG 29193) e recortados pelo limite da MO Sabesp, assim como sofreram discretização (comando GRASS `r.reclass`) baseados em limites pré-estabelecidos e postos em hierarquia permitindo a sobreposição da análise da vulnerabilidade ambiental, a gerar um mapa temático para cada PI. O PI de precipitação – isoietas médias do mês de Dezembro de 1977 a 2006 – foi convertido de formato vetorial para raster (comando GRASS `v.to.rast.attributte`) para então fazer interpolação da pluviosidade pelo método do Inverso do Peso da Distância (IDW), equivalente a um modelo digital de elevação (MDE), (comando GRASS `v.surf.contour`).

A classificação do mapa de pluviosidade usou como orientador os níveis de interferência na estabilidade do ambiente segundo ROSS (2012). A situação pluviométrica da MO é caracterizada por chuvas mais intensas na estação do verão, entre Dezembro e Março, e chuvas irregulares e mais fracas durante o resto do ano, com variação de água de 1400 a 1600 mm/ano de acordo com o mapa da Figura 2 e encaixando ao nível 3 da Tabela 1.



Níveis Hierárquicos	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).

Tabela 1. Níveis Hierárquicos dos Comportamentos Pluviométricos.

Fonte: ROSS (2012)

Logo, representando a cartografia desta classe foi gerado um mapa digital em formato matricial com valor constante de 3, que corresponde à classe média de vulnerabilidade (comando GRASS *r.report*).

O PI de uso de solo foi feito a partir de classificação supervisionada, utilizando o complemento Semi Automatic Plugin, dividido nas seguintes classes: área urbana, espelho de água, solo exposto, capoeira e mata; baseado numa composição falsa cor 654 Landsat 8 com órbita datando de 8 de Novembro de 2018 e resolução espacial de 30m obtida de forma gratuita do site Earth Explorer. Depois foi feita a discretização com o comando GRASS *r.rport* de acordo com os níveis hierárquicos. A Tabela 2 mostra a classificação do mapa de uso e cobertura da terra, de acordo com os critérios adaptados de ROSS (1994):



Níveis Hierárquicos	Classe do Uso do Solo
1 – Muito Baixa	Espelhos de água e hidrografia
2 - Baixa	Áreas de mata fechada / florestas
3 - Média	Áreas com vegetação arbustiva / capoeira
4 - Forte	Solo exposto / degradado
5 – Muito Forte	Áreas urbanas
Total	

Tabela 2. Níveis Hierárquicos dos Uso e Cobertura da Terra.

Fonte: ROSS (1994)

O PI de declividade foi gerado a partir do MDE disponibilizado pelo INPE (2011) com resolução espacial de 30m (comando GRASS *r.slope.aspect*) em porcentagem. Depois o PI foi discretizado de acordo com os pesos estabelecidos pelas classes de inclinação de relevo da EMBRAPA (2006), conforme a Tabela 3.

Segundo BEZERRA et al. (2016), a declividade influencia diretamente nos processos que transformam a energia potencial das águas pluviais em energia cinética, causando o aumento dos processos erosivos.

Níveis Hierárquicos	Classe de Declividade	% Declividade	Área (%)	Área (he)
1 – Muito Baixa	Plano	0-3	5,80	5.949,12
2 - Baixa	Suave ondulado	3-8	20,00	20.495,36
3 - Média	Ondulado	8-20	50,74	52.003,32
4 - Forte	Forte ondulado	20-45	22,33	22.884,09
5 – Muito Forte	Montanhoso Escarpado	>45	1,13	1.159,18
Total			100	102.491,07

Tabela 3. Níveis Hierárquicos de Declividade.

Fonte: BEZERRA et al. (2016)

Quanto à fragilidade da pedologia aos processos erosivos foram usadas as informações fornecidas MAGALHÃES et al. (2012) para a hierarquizar as vulnerabilidades das classes de solos. O PI de pedologia da MO foi obtido a partir dos estudos de tipos de solo da EMBRAPA (2006) e foram discretizados conforme mostra a Tabela 4:

Níveis Hierárquicos	Classe de Pedologia
3 – Média	Latossolo Vermelho Amarelo
4 – Forte	Cambissolo Háplico
Total	

Tabela 4. Níveis Hierárquicos de Pedologia.

Fonte: MAGALHÃES et al. (2012)



Os PI foram convertidos de formato vetorial para formato matricial (raster) e o cálculo dos níveis hierárquicos foi feito na Calculadora Raster do QGIS somando os valores relacionados aos pixels dos PI.

O método para o estudo do mapeamento da vulnerabilidade ambiental baseou-se nas metodologias criadas por ROSS (2012) e BEZERRA et al. (2016), sobrepondo-se os quatro tipos de atributos da região estudada (pluviosidade, inclinação do terreno, pedologia e classes de uso da terra) a obter a integração do mapa de fragibilidade ambiental. Partindo da leitura de mapas temáticos e consultas à literatura, foram estabelecidos os critérios para a hierarquização dos planos de informação (PI) e do grau do risco ambiental, alinhado com a vulnerabilidade de cada área a sofrer os efeitos da erosão. Cada atributo foi representado por meio de cinco classes de fragibilidade ambiental.

O Mapa de Vulnerabilidade Potencial (MVP) foi feito pela sobreposição dos PI de intensidade de precipitação (mm/ano), declividade do terreno (%) e pedologia (unidades de mapeamento de solos). O Mapa de Vulnerabilidade Emergente foi obtido sobrepondo-se o MVP com o mapa temático do PI de uso / ocupação do solo.

Foi feita uma relação numérica entre os PI calculados para a classificação dos riscos ambientais, tanto potencial como emergente, conforme a Tabela 5.

Descrição da classe	(Pontuações A + B + C) / 3	=	(Fragilidade Potencial + D) / 2	=	Fragilidade Emergente
1 – Muito Fraca	$(1 + 1 + 1) / 3$	=	$(1,0 + 1) / 2$	=	1,0
2 - Fraca	$(2 + 2 + 2) / 3$	=	$(1,1 a 2,0 + 2) / 2$	=	1,1 a 2,0
3 - Média	$(3 + 3 + 3) / 3$	=	$(2,1 a 3,0 + 3) / 2$	=	2,1 a 3,0
4 - Forte	$(4 + 4 + 4) / 3$	=	$(3,1 a 4,0 + 4) / 2$	=	3,1 a 4,0
5 – Muito Forte	$(5 + 5 + 5) / 3$	=	$(4,1 a 5,0 + 5) / 2$	=	4,1 a 5,0

Tabela 5. Soma das pontuações das classes de fragilidades potencial e emergente.

Fonte: Autores (2019)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são mostrados os mapas de declividade, pedologia, pluviometria e uso / cobertura do solo.

Analisando o mapa de pluviosidade, verifica-se que uma amplitude de 200 mm por ano MO, sendo que a isoietas de maior intensidade, 1600 mm por ano, está localizada na região sul, município de Cotia; na face está situada a curva de 1400 mm no município de Pirapora do Bom Jesus e na região central da área de estudo estão as curvas de 1500 mm. 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*, sendo que



para a MO o valor médio de erosividade gira em torno de 6500 MJ mm ha⁻¹ ano de acordo com o programa NetErosividade SP.

O atual uso e ocupação do solo da MO é diversificado, mostrando regiões naturais e antrópicas, sendo identificados os seguintes usos principais: espelhos de água e hidrografia com 1.556,55 ha (1,51%); vegetação arbórea, remanescente de Mata Atlântica dos tipos Floresta Ombrófila Densa Montana e Vegetação Secundária Inicial, com 36.126,63 ha (34,88%); vegetação arbustiva, pastagem e campos com 26.432,12 ha (25,52%); solo exposto e regiões degradadas com 9.654,19 ha (9,32%) e área urbanizada de 29.795,78 ha (28,77%).

As áreas de vegetação arbórea possuem alta densidade que protege o solo contra os efeitos da água pluvial, diminuindo a velocidade do escoamento superficial. As pastagens possuem cobertura vegetal mais rala, a predominar gramíneas e arbustos, tendo risco de erosão maior que as matas. As regiões com solo exposto e áreas edificadas são às mais vulneráveis aos processos erosivos devido à impermeabilização e compactação do solo (SILVA & MACHADO, 2014).

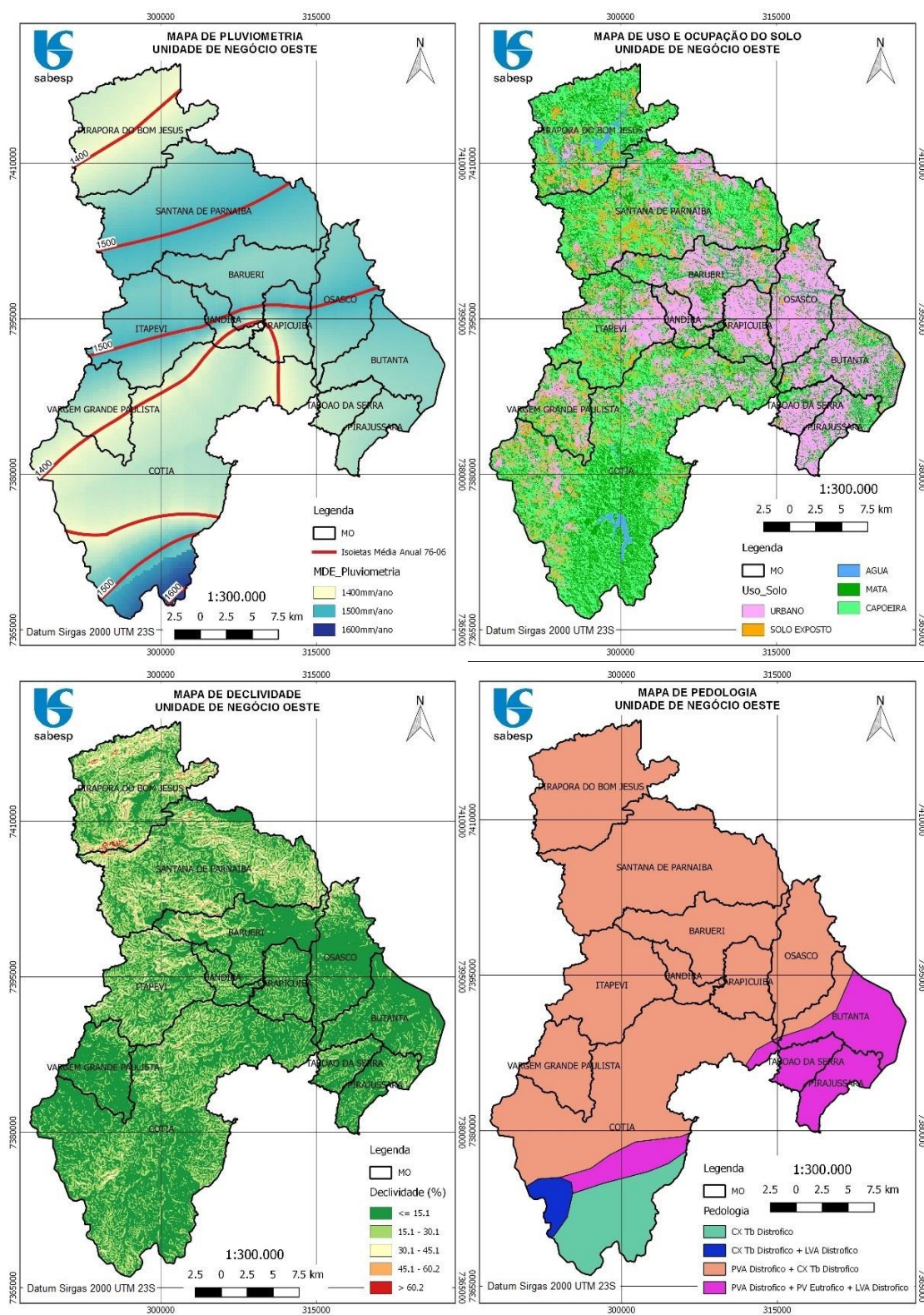


Figura 3. Mapas temáticos dos Planos de Informação.

Fonte: Autores (2019)



Referente à inclinação do terreno, a MO possui uma declividade média de 16,17%, mínima de 0% e máxima de 110%, caracterizada pelas áreas com os seguintes relevos: plano com 5.949,12 ha (5,8%); suave ondulado com 20.495,36 ha (20%); ondulado com 52.003,32 ha (50,7%); forte ondulado com 22.884,09 ha (22,3%) e montanhoso com apenas 1.159,18 ha (1,13%). As margens dos rios possuem relevo suave geralmente e em direção às laterais das sub bacias a declividade aumenta (vertentes). De acordo com BEZERRA et al. (2016), as regiões com relevo plano facilitam a infiltração da água no solo e dificultam o escoamento superficial gerando baixa carga de erosão laminar, porém quando o relevo é inclinado, ocorre o efeito contrário, promovendo o processo erosivo como sulcos, ravinas e voçorocas no solo.

As classes de solo ficaram divididas em Cambissolo Háplico abrangendo 91,87% da área de estudo (95.143,00 ha) e em Latossolo Vermelho Amarelo com 8,13% (8.417,00 ha), correspondentes respectivamente às fragilidades moderada e forte. Segundo EMBRAPA (2006) o fator K do primeiro solo é 0,093756 e do segundo é de 0,006372 t.h / MJ.mm, delineando que quanto maior o valor da erodibilidade, maior a vulnerabilidade a processos erosivos, conforme trabalho semelhante de MAGALHÃES et al. (2012) sobre estimativa de perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Vieira em Montes Claros, Minas Gerais.

Os mapas de susceptibilidade erosiva não mostraram riscos do tipo muito fraco ou fraco, tendo predominância do tipo média e alta vulnerabilidade, com pontos isolados de risco muito alto. A Tabela 6 apresenta a quantificação de áreas dos Mapas de Vulnerabilidade Potencial (VP) e de Vulnerabilidade Emergente (VE).

Risco Ambiental	Área (%) VP	Área (he) VP	Área (%) VE	Área (he) VE
Muito fraco	0	0	0	0
Fraco	0	0	0,04	42,79
Médio	11,98	12.135,01	15,14	15.370,50
Forte	86,88	87.956,03	81,27	82.526,39
Muito Forte	1,14	1.151,37	3,55	3609,45
100,00	101.242,41	100,00	101.549,13	

Tabela 6. Áreas das classes de vulnerabilidade ambiental: Potencial e Emergente VP e VE).

Fonte: Autores (2019)

É importante que ressaltar que esta diferença de área entre o VP e o VE de 306,72 hectares se dá pelo algoritmo que não computa de forma refinada as bordas do raster, ou seja, os pixels limítrofes acompanham de maneira grosseira o limite vetorial, havendo lacunas topológicas – quanto maior a resolução espacial do arquivo matricial, melhor definido será a borda do mesmo. A analisar a distribuição dos diferentes graus de fragilidade constata-se que de forma geral a MO apresenta vulnerabilidade potencial (MVP) média e forte ocupando cerca de 99% do total, enquanto que no mapa de vulnerabilidade emergente (MVE) também apresenta comportamento semelhante, sendo que a predominância dos riscos do tipo médio e forte é de cerca de 97% do total. Os mapas podem ser observados na Figura 4.

As regiões de fragilidade muito alta tem predominância de relevo montanhoso conjugadas com regiões antrópicas, como por exemplo a divisa entre os municípios de Pirapora do Bom Jesus e

Santana de Parnaíba, cujo local se chama Bairro do Suru e possui uma altitude entre 930 e 1200 metros.

As regiões de vulnerabilidade alta são caracterizadas em sua maioria por áreas urbanas ou solo exposto situadas em relevo com inclinação entre 8 e 45% e sob Cambissolo Háplico; já as regiões de vulnerabilidade média estão situadas em áreas de pastagem ou periurbanas com topografia de até 8% também em solo Cambissolo Háplico – ambas regiões estão distribuídas de forma espreada e fractal, com exceção da região sul da MO – ali observa-se uma grande porção de fragilidade moderada situada sob Latossolo Vermelho Amarelo e coberta por floresta, que é a Reserva Ecológica do Morro Grande, no município de Cotia. Nota-se que alguns córregos também são classificados como área de risco médio à erosão como o Rio Tietê, partindo a jusante de Osasco até Pirapora do Bom Jesus e o Rio Cotia partindo a montante de Carapicuíba até Cotia, ambos mais evidentes no MVE.

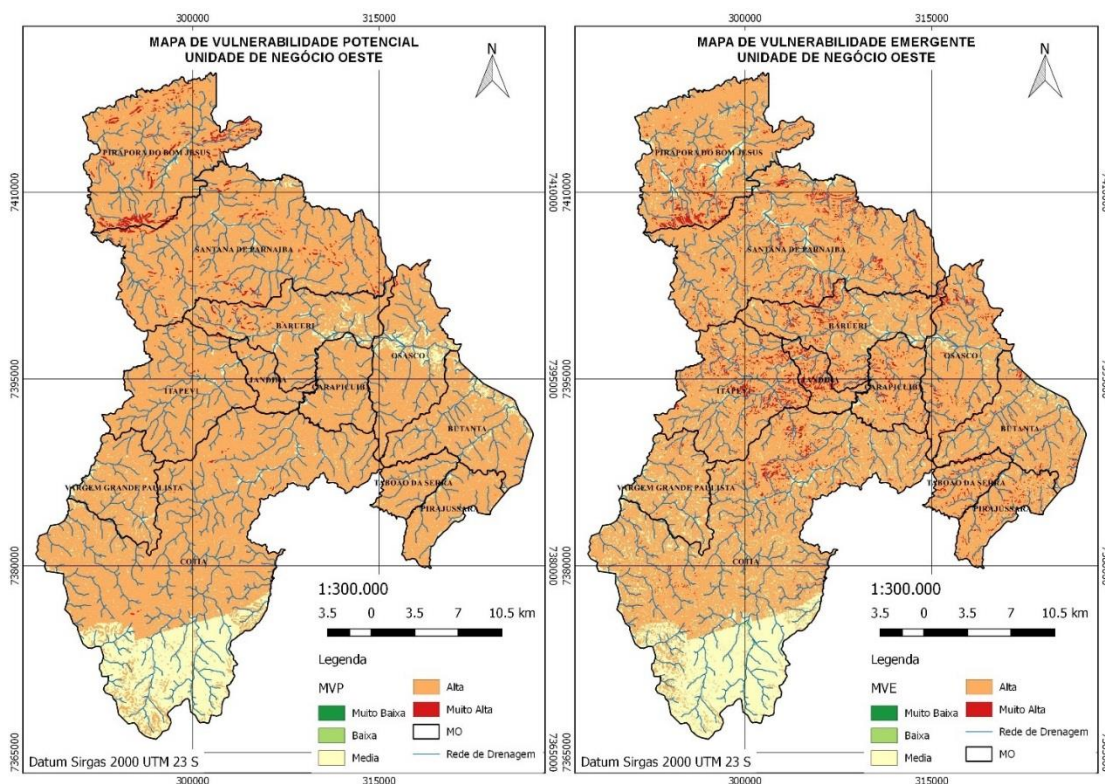


Figura 4. Mapas finais de vulnerabilidade ambiental.

Fonte: Autores (2019)

A análise possibilita a integração de dados de natureza diferente, relacionando-os e permitindo a identificação da vulnerabilidade ambiental a partir dos vários Planos de Informação (PI). Observa-se que mesmo com a incidência antrópica (áreas urbanas ou solo exposto) as classes de risco médio e forte mantiveram-se constantes, quando se compara o MVP e o MVE.

Nos municípios de maior densidade populacional como Jandira e Carapicuíba, cujo solo encontra-se quase que totalmente impermeabilizado, com a ausência de fragmentos florestais e a restrição de vegetação somente aos quintais dos domicílios, verifica-se que esses locais são sinalizados com fragilidade emergente muito alta.



O crescimento da malha urbana em locais inadequados como a construção de comunidades próximas a leitos de rios ou áreas de mananciais, contribui também na identificação de fragilidade emergente muito forte como por exemplo as favelas situadas na divisa entre os bairros de Butantã e Pirajussara do município de São Paulo. Essas ocupações irregulares intensificam a poluição dos corpos hídricos por causa do lançamento clandestino de efluentes de esgoto e resíduos sólidos nos afluentes do Rio Tietê.

Um fator não contemplado no MVE mas que é de suma importância para a proteção ambiental da paisagem são as áreas de preservação permanente (APPs): sua ausência pode gerar uma interpretação contraditória, uma vez que as áreas de várzeas e /ou ripárias que deveriam ser classificadas como regiões com alto risco à fragilização, devido aos impactos negativos da ação antrópica como poluição, contaminação e assoreamento por exemplo, geralmente são catalogadas como áreas de risco baixo. Porém, SANTOS (2014) adaptou a fragilidade ambiental para o município da Serra da Calçada em Minas Gerais, considerando a variável de proximidade dos cursos de água e nascentes, no caso quanto maior distância entre o pixel e o corpo hídrico, menor é o risco aos processos erosivos.

As áreas com risco muito alto mostraram-se cerca de 3 vezes maiores e mais pulverizadas no MVE quando comparado com o MVP, enquanto as poucas regiões de baixa susceptibilidade à erosão são caracterizadas como alguns corpos hídricos localizados na Reserva do Morro Grande, face sul da MO, como algumas redes de drenagem que partem da represa Pedro Beicht.

Embora as informações de precipitação sejam condizentes com a realidade, a maneira mais convencional de se obter o PI da pluviosidade é pesquisar a série histórica de no mínimo 30 anos de postos pluviométricos posicionados tanto dentro como fora da bacia hidrográfica, obtendo-se uma precisão melhor do que se usando as isoietas do Atlas Pluviométrico do Brasil na escala 1:5.000.000, uma vez que esta ordem de grandeza pode trazer resultados insatisfatórios caso a área de estudo seja muito pequena – exemplificando, PADILHA et al. (2013) fizeram desta forma para determinar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande no Rio Grande do Sul.

Em visita a campo de algumas áreas de vulnerabilidade alta e muito alta, foi possível identificar aspectos ambientais negativos que permanecem ocultos por meio de interpretação de imagem aérea como por exemplo: 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 exemplo criado, a área de estudo foi avaliada de maneira geral como de alto risco à erosão tanto emergente como potencial, indicando a passividade erosiva baseada nas interferências antrópicas e propriedades naturais do local.

Embora não seja escopo da SABESP trabalhar com zoneamento ambiental, os resultados obtidos apresentam a necessidade de se implantar nos municípios atendidos um plano de manejo de uso e ocupação sustentável, servindo como diretriz para os gestores públicos elaborarem propostas mais eficientes de medidas mitigadoras.



Deste modo é relevante estabelecer um plano de gerenciamento tanto para as propriedades de uso e ocupação da MO quanto na diferenciação das áreas de maior e menor vulnerabilidade ambiental. Assim, é possível subsidiar o planejamento municipal (Plano Diretor) para expansão urbana ou construção de novos empreendimentos.

Os mapas de vulnerabilidade erosiva aqui apresentados foram eficientes para mostrar a realidade dos riscos de forma simplificada, porém para um estudo mais detalhado, recomenda-se uma metodologia mais avançada que leve em consideração o peso das variáveis, como por exemplo a Análise Hierárquica de Pro (AHP) assim como quantifique a erosão laminar, exemplificando a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos técnicos da Sabesp pelo auxílio nas visitas de campo e aos analistas pelas orientações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**. In: Anais I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2016, Campina Grande – PB.

CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso em 11 Dez. 2018.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa; 2006.

INPE. Topodata. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos, SP. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em 18 Marc. 2019.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. José Carlos Neves Epiphanyo tradutor. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598p.

MAGALHÃES, I.A.L.; NERY, C.V.M.; ZANETTI, S.S.; PENA, F.E.R.; AVELINO, R.C.; SANTOS, A.R. **Uso de Geotecnologias para Estimativa de Perda de Solo e Identificação das Áreas Susceptíveis a Erosão Laminar na SubBacia Hidrográfica do Rio Vieira, Município de Montes Claros, MG**. Cadernos de Geociências, v. 9, n.2, 2012.

PADILHA D. G. **Caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande-RS como subsídio ao planejamento territorial**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. [CD-ROM]: 2013 abr 13-18; Foz do Iguaçu, Brasil, 4072-4079.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2018. **Perfil da MO** (intranet). Disponível em <www.sabesp.com.br/portal-corporativo.php>. Acesso em 18 Mar. 2019.



SANTOS, M. F. S. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental da Serra da Calçada-MG**. 45 f. Monografia (Especialização)-Curso de Especialização em Geoprocessamento, Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

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 (UFPE), V. 31, No. 2, 2014.

SPORL, C.; ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos**. GEOUSP - Espaço e Tempo.2004; (15), 39-49.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.8, p.3-74, 1994.

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

RUSCHEL, A R. **Avaliação e valorização de espécies madeiráveis de Floresta Estacional do Alto Uruguai** [dissertação de mestrado]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC; 2000. 116p.

TAVARES, J. A. **Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Punaú (RN) e área litorânea adjacente** [dissertação de mestrado]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN; 2006. 178p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Landsat Missions**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php>. Acesso em: 11 Ago. 2019.