



MAPEAMENTO DE REGIÕES INUNDÁVEIS POR MEIO DE GEOPROCESSAMENTO: UM EXEMPLO NA SABESP OESTE

Bruno Pereira Toniolo ⁽¹⁾

Doutorando em Ciências Ambientais pela Unesp Sorocaba, Tecnólogo em Edifícios e Encarregado de Cadastro Técnico na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

Darllan Collins da Cunha e Silva ⁽²⁾

Doutor, Engenheiro Ambiental e Professor pela Unesp Sorocaba no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Filipe Antonio Marques Falcetta ⁽³⁾

Doutor, Engenheiro Civil e Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

Roberto Wagner Lourenço ⁽⁴⁾

Doutor, Geógrafo e Professor pela Unesp Sorocaba no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Endereço⁽¹⁾: Rua Paladino, 300 – Vila Leopoldina – São Paulo – SP - CEP: 02675-031 – Brasil - Tel: +55 (11) 3838-6151 - e-mail: btoniolo@sabes.com.br.

RESUMO

As inundações e erosões no meio urbano são resultados dos efeitos antrópicos, potencializadas pelas ocupações irregulares e falta de planejamento territorial, acabam por prejudicar a sociedade, especialmente em locais cujo relevo é acidentado. Nessas áreas, as inundações dificultam a mobilidade do morador e põe em risco sua integridade física. Dessa forma, este trabalho objetiva mapear, com uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), os locais com risco à inundação nos municípios situados na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Foi usada a ferramenta *Analytic Hierarchy Process* (AHP), baseando-se em cinco variáveis: pedologia, textura do solo, uso e ocupação da terra, declividade do terreno e altitude. Como resultado, observou-se a maioria do risco Regular com 52,5% em relação à área de estudo e equivalente a 53 mil hectares. A classe de risco Altíssimo situou-se principalmente nas regiões inundáveis dos cursos d'água como o Rio Tietê em Osasco e Carapicuíba, totalizando uma área de 13,7 mil hectares. Corroborou-se a metodologia pela localização das áreas de grande risco situadas em regiões de comprovadas ocorrências de enchentes como os bairros de Rochdale no município de Osasco e Jaguaré no município de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Enchente, Risco, Geotecnologias e AHP.

ABSTRACT

Floods and erosion in urban areas are the result of anthropic effects, which potentiated by irregular occupation and lack of territorial planning, harm society, especially in places with uneven relief. In these areas, floods make it difficult for residents to move around and put their physical integrity at risk. Thus, this work aims to map, using the Geographic Information System (GIS), the places at risk of flooding in the municipalities located in the west of the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), and operated by the Basic Sanitation Company of the State of São Paulo (SABESP). The Analytic Hierarchy Process (AHP) tool was used, based on five variables: pedology, soil texture, land use and occupation, terrain slope and altitude. As a result, most of the Regular risk was observed with 52.5% in relation to the study area and equivalent to 53 thousand hectares. The highest risk class was located mainly in the flooded regions of water courses such as the Tietê River in Osasco and Carapicuíba, totaling an area of 13.7 thousand hectares. The methodology was corroborated by the location of high risk areas located in regions with proven occurrences of flooding, such as the neighborhoods of Rochdale in Osasco and Jaguaré in São Paulo.

KEYWORDS: Flood, Risk, Geotechnologies and AHP.

INTRODUÇÃO

A consolidação das primeiras metrópoles ocorreu de maneira imprópria, uma vez que a ocupação de uma cidade às margens de um curso d'água facilitava o transporte de esgoto sanitário e lançamento de resíduos sólidos, além da necessidade de solo fértil para sustentar agricultura, pecuária e edificações no geral. Até hoje, após a urbanização não é incomum encontrar habitações em áreas ribeirinhas, sendo a maioria em situação de vulnerabilidade social (SILVA & MACHADO, 2014).

Esta forma de intervenção é ambientalmente prejudicial, devido aos impactos ocasionados pelas ações antrópicas, que influenciam de forma direta na quantidade e qualidade da água disponível. Assim, em 1965, foi decretada a Lei Federal 4.771 (Brasil, 1965) que instituiu as Áreas de Preservação Permanente (APPs), as quais conservariam as margens dos cursos d'água. Todavia, hoje as APPs não são devidamente respeitadas e o monitoramento é insuficiente à hidrografia, interferindo na qualidade dos recursos hídricos, em contexto urbano (SILVA et al., 2017).

Segundo Simonetti et al. (2019), o aumento das ocorrências de inundações e alagamentos acontece por causa do crescimento desenfreado da malha urbana, esta que, por sua vez, intensificou a impermeabilização do solo, a supressão da vegetação, o assoreamento dos rios e o cresceu o volume e vazão do escoamento superficial.

De acordo com Tucci et al. (1995), as inundações ocorrem quando uma precipitação intensa ocorre e o total de água que chega ao curso d'água é superior que sua capacidade drenante, resultando em acúmulo de água nas áreas de várzea.

A execução de infraestrutura para contenção ou mitigação de enchentes passou por revisão de projetos urbanos e, ao longo da história, são aceitas medidas não estruturantes, em conjunto com a realização de obras e o incentivo ao planejamento urbano integrado às demandas sociais, para minimizar os riscos intrínsecos ao processo (VAZ FILHO et al., 2018).

Ainda assim, mesmo nas áreas inundáveis, a relativa raridade na ocorrência de inundações favorece a ocupação das áreas de risco pela sociedade, de forma que o mapeamento cartográfico é uma, entre outras, técnicas que podem auxiliar na prevenção de desastres ambientais, ajudando na tomada de decisão do gestor público (HORA e GOMES, 2009).

Segundo Câmara (2001), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) auxilia na delimitação de áreas frágeis a um determinado evento físico, a partir de planos de informações espaciais, como geomorfologia, uso e ocupação da terra, pluviosidade, pedologia etc., servindo como base para o planejamento ambiental.

Vários trabalhos usaram o geoprocessamento para mapear áreas suscetíveis a inundações como os de MAGALHÃES et al. (2011) que confrontaram dois métodos distintos no município de Guaçuí (ES) – um por coleta de dados em campo e outro por aplicação do método Analytical Hierarchy Process (AHP) usando as variáveis de tipo de solo, uso da solo, altitude e declividade; ZANIN et al. (2016) que identificaram áreas de risco de alagamento numa sub bacia hidrográfica do Rio Jaguari (RS) propondo ações mitigadoras; e SIMAS (2017) que fez um estudo das ocorrências históricas de inundações na bacia hidrográfica do rio Aricanduva no município de São Paulo (SP).

Ventura (2009) esclarece que, entre os métodos multicriteriais, está o método AHP que exige avaliação subjetiva e experiência profissional do gestor para que a tomada de decisão seja assertiva, sendo que pesos distintos para os critérios considerados podem contribuir para diferentes resultados.

Diante do exposto, o objetivo principal deste estudo foi elaborar um mapa de risco à inundações com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, baseando-se no método AHP, aplicadas na Unidade de Negócio Oeste (MO) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo corresponde a Unidade de Negócio Oeste (MO) e está situada na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A Figura 1 apresenta o mapa de localização da MO.

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, Carapicuíba, Cotia, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Santana de Parnaíba, São Paulo (parcialmente, nos distritos Butantã e Campo Limpo), Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

Esta unidade foi criada em 1996 e possui uma área de 1035,84 km². Atualmente a MO atende a uma população de 3.502.984 de clientes na distribuição de água e coleta de esgotos, caracterizada por um sistema composto por 7,95 mil km de redes de distribuição e ramais de água, 4,91 mil km de rede de coleta e ramais de esgoto, cerca de 916 mil ligações de água e 611 mil ligações de esgoto (SABESP, 2021).

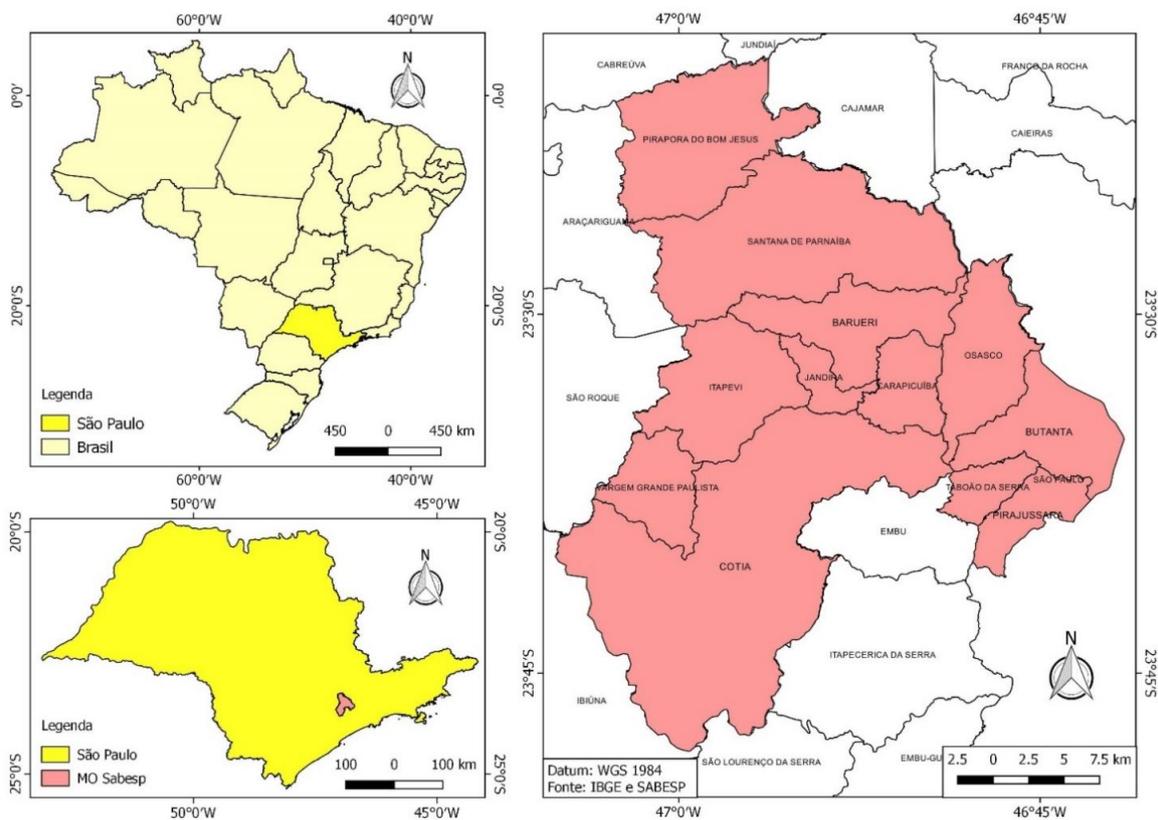


Figura 1: Localização da Unidade de Negócio Oeste MO da Sabesp, situada na RMSP.

Fonte: Autoria própria.

Material

Foram usados para a realização do estudo os seguintes produtos:

- Sistema de Informação Geográfica (SIG) chamado QGIS 2.18 Las Palmas;
- Modelo Digital de Elevação (MDE) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), denominado Topo Data com resolução espacial de 30m;
- Imagem do satélite LandSat 8, órbita 219/076 de 27 de Agosto de 2017, horário central 13:04h (UTC);
- Arquivos vetoriais (formato *shapefile*) de pedologia (tipo de solo) e textura do solo obtidas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018);

- Arquivo vetorial dos córregos inundáveis (BROLLO et al., 2013) e hidrografia (SABESP, 2018);
- Arquivo vetorial das manchas de suscetibilidade à inundação (IPT; CPRM, 2014).

O sistema de coordenadas aplicado foi o SIRGAS 2000 com a projeção cartográfica Universal Transversa Mercator (UTM) no fuso 23S.

Metodologia

A técnica Analytical Hierarchy Process (AHP), criada por Saaty (1991), foi usada para a classificação e a associação pareada, com o objetivo de simular, da forma mais fidedigna possível, as propriedades ambientais da área de estudo, considerando as seguintes variáveis: declividade, altitude, uso da terra, pedologia e textura do solo.

Este método baseia-se em criar uma escala de importância entre os fatores analisados e depois pô-los numa matriz de relacionamento para se fazer uma comparação par a par, havendo então um entendimento de que existe uma hierarquia de importância entre os agentes de influência. O método AHP determina, por meio da ponderação dos valores destes fatores, uma mensuração global para cada alternativa que será priorizada em forma de matriz de decisão (FREITAS, 2012).

Para criar a matriz de decisão, usa-se a escala fundamental de Saaty (1991), conforme apresentado na Tabela 1. De acordo com Santos et al. (2010), a fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada um momento essencial durante o processo de mapeamento de inundação, pois, embora haja certa subjetividade por causa da experiência do analista na escolha das notas, os valores impostos a um fator interferem de forma direta no resultado obtido.

Tabela 1: Escala de comparadores AHP.

NOTA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8 e 10	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: SAATY (1991).

Para a elaboração da cartografia digital que representa as cinco variáveis, foi preciso classificá-las em intervalos por meio do comando *GRASS R.RECODE* do QGIS, aplicando-se notas de acordo com o nível de vulnerabilidade à inundação, que variou de 0 a 10. A imputação das notas aos intervalos das variáveis foi feita pela média aritmética da análise de quatro especialistas, colaboradores da SABESP, com formações distintas – engenharia civil, geografia, geologia e biologia.

Quanto maior a altitude, menor a possibilidade de inundação na região por causa da gravidade que encaminha a água do escoamento superficial para regiões mais baixas (SIMAS, 2017). A obtenção da altitude foi pelo uso do MDE Topodata, o qual foi recortado pelo limite da MO e posteriormente foi refinado, eliminando as

depressões espúrias da topografia. O mapa hipsométrico foi reclassificado em seis níveis, adaptado do estudo de MAGALHÃES et al. (2012), conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Atribuição de notas ao critério de Altitude.

CLASSE (m)	NOTA
643-736	10
736-829	9
829-922	8
922-1.015	7
1.015-1.108	4
1.108-1.201	2

Fonte: Adaptado de MAGALHÃES et al. (2012).

A declividade do relevo influencia de forma direta no depósito de água superficial, sendo que as áreas planas e de várzea mostram maiores chances de sofrerem inundação do que áreas mais inclinadas. O mapa de declividade é derivado do MDE refinado, sendo processado pelo comando *GRASS R.SLOPE*. Ele foi classificado conforme a Tabela 3 e referendado pela proposta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979).

Tabela 3: Atribuição de notas ao critério de Declividade.

CLASSE (%)	NOTA
0 a 3 – Plano	10
3 a 8 – Suavemente ondulado	9
8 a 20 - Ondulado	5
20 a 45 – Fortemente Ondulado	3
45 a 75 – Montanhoso	2
Maior que 75 - Escarpado	1

Fonte: EMBRAPA (1979).

A pedologia influencia à medida que a depender do tipo, textura e da profundidade das camadas de solo, há maior ou menor potencial para o desenvolvimento do escoamento superficial, e, conseqüentemente, pode vir a potencializar a ocorrência de fenômenos de erosão e de inundação.

Porto e Setzer (1979) baseando-se no método do Número da Curva desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS), classificaram os solos do Estado de São Paulo em 5 grupos hidrológicos distintos, sendo o grupo A os solos mais permeáveis e o grupo E, os solos mais rasos e menos permeáveis. Na área de estudo, foram considerados dois tipos de solo predominantes, sendo um mais argiloso, portanto mais impermeável, e outro de textura mais rochosa/arenosa, portanto com característica mais permeável e os pesos apresentados na Tabela 4 refletem estas características.

Tabela 4: Atribuição de notas ao critério de Tipo de Solo.

CLASSE	NOTA
Argissolo Vermelho-Amarelo	5
Cambissolo Háptico	3

Fonte: EMBRAPA (2001).

A forma da ocupação do solo influencia na intensidade de escoamento e morosidade da infiltração da água. Quanto mais impermeabilizante a forma de ocupação do solo, mais a água tende a se acumular, aumentando o

fluxo da velocidade em comparação com solos revestidos de cobertura vegetal. O mapa de uso e ocupação da terra foi desenvolvido a partir da classificação supervisionada da imagem Landsat 8, usando composição falsa cor RGB765 e o plugin do SCP do QGIS, com resolução espacial de 30 metros. A data das imagens é de 14 de Agosto de 2018 e a órbita do satélite é 219/76.

As imagens sofreram correção atmosférica DOS1 e fusão com a banda pancromática para melhorar a resolução espacial (15 metros), sendo reclassificadas em cinco categorias baseando-se no Manual Técnico de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Atribuição de notas ao critério de Ocupação da Terra.

CLASSE	NOTA
Hidrografia	10
Área Urbana / Industrial	8
Solo Exposto / Campo	7
Vegetação Arbustiva	5
Vegetação Arbórea	3

Fonte: IBGE (2013).

Embora se refira ao estudo das rochas e minérios compostos no solo, neste estudo foi considerada a textura do terreno natural, baseando-se na permeabilidade do terreno natural como argila, silte, areia e suas combinações, sendo reclassificado em cinco classes, conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Atribuição de notas ao critério de Textura.

CLASSE	NOTA
Predominantemente Argiloso	9
Predominantemente Argiloso-Siltoso	7
Predominantemente Argiloso-Siltico-Arenoso	5
Variável de arenoso a Argilo-Siltoso	3
Não se aplica	1

Fonte: CPRM (2019).

Após selecionada cada nota para cada fator foi utilizada a matriz de comparação par a par para determinação dos pesos. Após a determinação dos pesos, cada camada matricial foi cruzada por álgebra de mapa, por meio da Calculadora Raster do QGIS, usando seu respectivo peso estatístico para obter o Mapa de Risco à Inundação. Posteriormente, foram calculadas as áreas de cada região suscetível a inundação por meio do comando *GRASS R.REPORT*.

Depois foi computado o Índice de Consistência (IC), por meio do auto valor máximo (λ_{max}) e do número de variáveis analisadas, aqui $n = 5$, pela Equação (1). Conforme Saaty (1991) o IC precisa ser menor que 10% (0,1), do contrário, precisa-se refazer as ponderações de pesos até que se atinja esse valor.

$$IC = (\lambda_{max} - 1) / (n - 1) \quad (1)$$

Ainda conforme Saaty (1991), o autovalor máximo (λ_{max}) pode ser calculado pela multiplicação da matriz de comparação (A) pela matriz de pesos normalizados (p), dividindo-se o resultado adquirido (Ap) pelo vetor de pesos normalizados, como é mostrado na Equação (2).

O autor supracitado também recomenda o cálculo da Razão de Consistência (RC), que é a divisão do IC pelo Índice Randômico (IR) tabulado (Tabela 7) para a quantidade de variáveis usadas (n), sendo que o RC também deve ser menor que 0,1.

$$\lambda_{max} = \text{média dos valores da matriz resultante de } Ap / p \quad (2)$$

Tabela 7: Índice Randômico em função das variáveis usadas (n).

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IC	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,41	1,49	1,51

Fonte: Autoria própria.

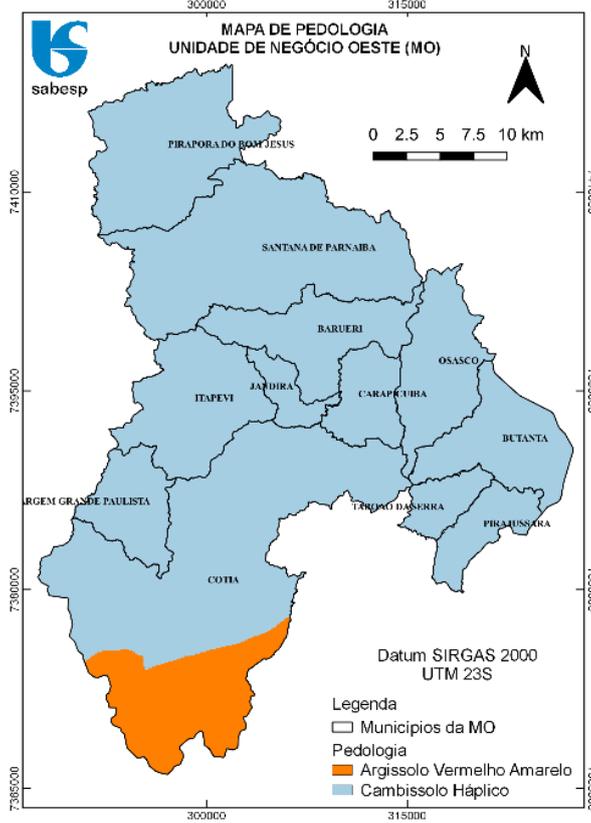
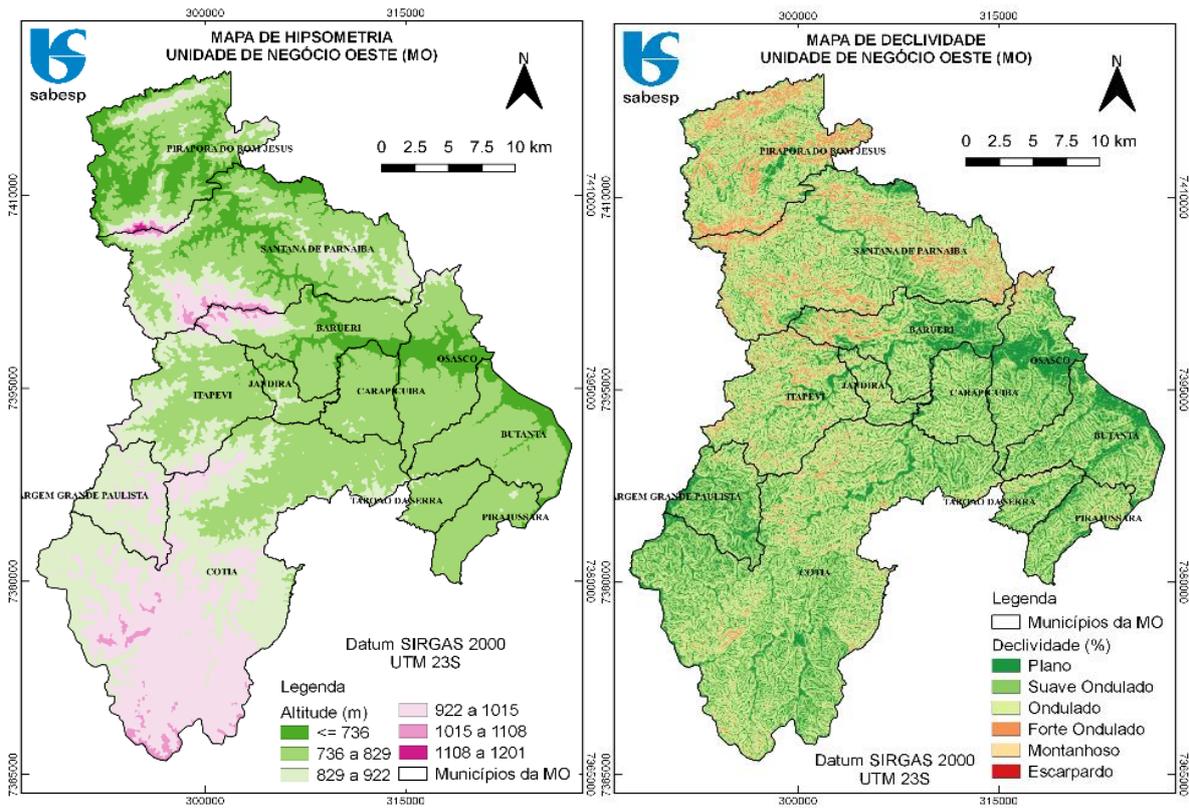
O mapa resultante (Figura 3) foi comparado com a cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações, elaboradas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e Serviço Geológico do Brasil (IPT; CPRM, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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).

A Figura 2 apresenta os mapas das variáveis utilizadas para a elaboração do mapa de risco à inundação.



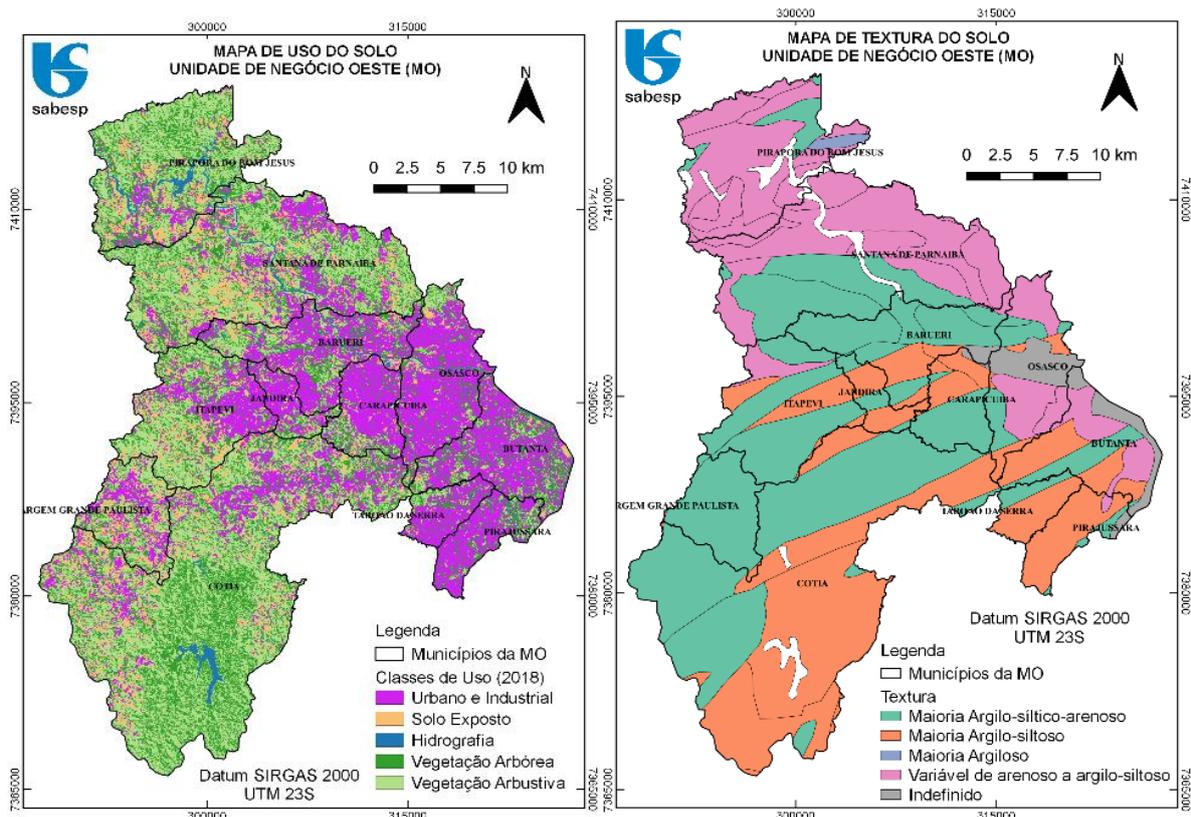


Figura 2: Mapas dos cinco fatores utilizados na elaboração para análise do risco à inundação.
Fonte: Autoria própria.

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 subbacias a declividade aumenta (vertentes), sendo que 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 boçorocas no solo.

As classes de solo ficaram divididas em Cambissolo Háptico 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 CPRM (2018) 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.

A MO possui um histórico de ocorrências de inundações e de alagamentos em que alguns fatores influenciaram nas mesmas, tais como: assentamentos latifundiários irregulares, poluição de corpos hídricos, entupimento de dispositivos de drenagem como bocas de lobo, poços de visita e até mesmo galerias pluviais, além do principal que é impermeabilização do solo e a verticalização residencial.

A Tabela 8 mostra a matriz de comparação pareada das variáveis utilizadas para elaboração do mapa de risco à inundação.

Tabela 8: Matriz de comparação pareada.

VARIÁVEL	TEXTURA	PEDOLOGIA	USO DO SOLO	ALTITUDE	DECLIVIDADE
TEXTURA	1	1/2	1/4	1/5	1/7



VARIÁVEL	TEXTURA	PEDOLOGIA	USO DO SOLO	ALTITUDE	DECLIVIDADE
PEDOLOGIA	2	1	1/2	1/4	1/5
USO DO SOLO	4	2	1	1/2	1/4
ALTITUDE	5	4	2	1	1/2
DECLIVIDADE	7	5	4	2	1
SOMA	19	12,50	7,75	3,95	2,09

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 9 é apresentado o peso de cada variável obtida por meio da comparação pareada pelo método da AHP.

Tabela 9: Determinação de pesos.

VARIÁVEL	TEXTURA	PEDOLOGIA	USO DO SOLO	ALTITUDE	DECLIVIDADE
TEXTURA	1/19	0,5/12,5	0,25/7,75	0,2/3,95	0,14/2,09
PEDOLOGIA	2/19	1/12,5	0,5/7,75	0,25/3,95	0,2/2,09
USO DO SOLO	4/19	2/12,5	1/7,75	0,5/3,95	0,25/2,09
ALTITUDE	5/19	4/12,5	2/7,75	1/3,95	0,5/2,09
DECLIVIDADE	7/19	5/19	4/7,75	2/3,95	1/2,09

Fonte: Autoria própria.

Assim, através dos pesos estabelecidos de cada critério em formato matricial, foi utilizado a Equação (3) na Calculadora Raster presente no software QGIS, obtendo-se assim o Mapa de Risco à Inundação.

$$RI = (0,0488 \times T) + (0,0817 \times P) + (0,1491 \times UCS) + (0,2667 \times H) + (0,4537 \times D) \quad (3)$$

Sendo: RI é o risco à inundação; T é o valor do pixel para o mapa de textura do solo; P é o valor do pixel para o mapa de pedologia; UCS é o valor do pixel para o mapa de uso e ocupação do solo; H é o valor do pixel para o mapa de hipsometria; D é o valor do pixel para o mapa de declividade.

O valor do IC calculado para determinar a integridade dos pesos atribuídos às variáveis do RI pelo método AHP foi de 2,4 %, ou seja, abaixo de 10 %, logo há consistência nos resultados adquiridos. Em relação ao RC o valor obtido foi de 1,6%, também menor que 10%, apontando que os pesos atribuídos apresentam também consistência.

A Figura 3 apresenta o mapa de risco à inundação com destaque dos rios mais sujeitos a enchentes conforme a Agência Nacional das Águas (ANA, 2014).

Analisando a Figura 3, observa-se que as áreas urbanas são as que apresentam risco entre alto e altíssimo, especialmente nos municípios de Barueri, Carapicuíba, Osasco e São Paulo. A mancha vermelha sobreposta com o vetor da malha hidrográfica (verde escuro) corrobora o fato de que a impermeabilização próxima das áreas ribeirinhas, geralmente planas e de baixa atitude, contribui para o aumento da vulnerabilidade às inundações.

Nota-se que a mancha de risco altíssimo estaciona no distrito de Alphaville em Barueri, na confluência de outros dois córregos, que é justamente o término da aglomeração urbana: dali para a frente o espaçamento demográfico é menor ao longo do rio Tietê e Estrada dos Romeiros, com predominância de áreas verdes e solos expostos (empreendimentos imobiliários ainda em implantação).

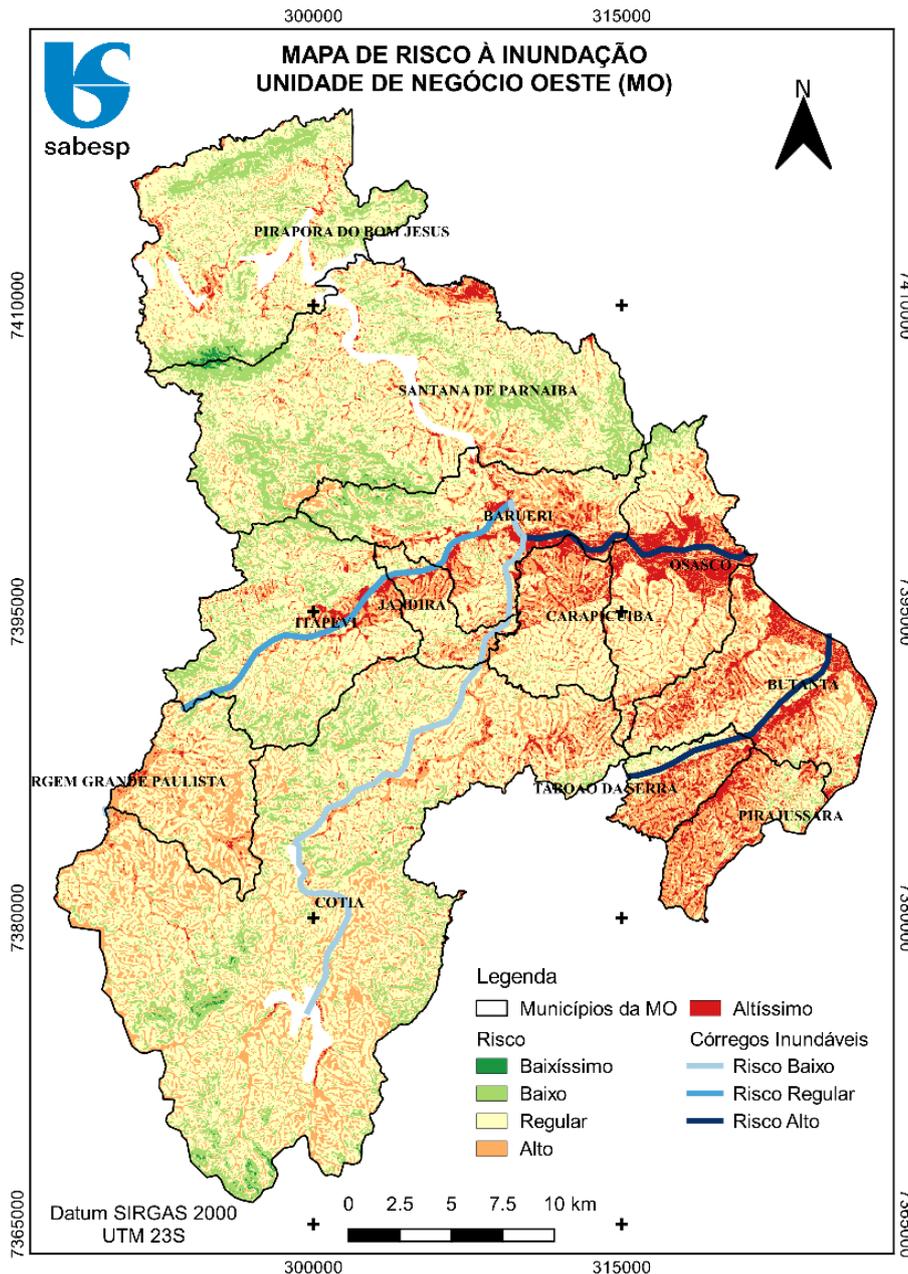


Figura 3: Mapa de risco à inundação na MO.
Fonte: Autoria própria.

As áreas com risco de muito alto ao longo do rio Tietê, localizadas entre os municípios de Osasco e Barueri, possuem altitude de até 735 metros aproximadamente e com declividade menor que 3%. Observa-se que essa classe está situada majoritariamente nas várzeas deste rio e seus respectivos afluentes.

Nestas áreas se encontram grandes edificações que reduzem significativamente a infiltração da água pluvial no solo, assim praticamente todo o escoamento superficial corre diretamente em direção ao rio Tietê, ou o atinge de forma indireta, por meio de seus afluentes. Embora as várzeas deste rio estejam situadas em argissolo vermelho amarelo, estipulado como moderadamente drenado, nota-se que a impermeabilização do solo aumenta probabilidade de inundação.

A incidência de áreas de baixíssimo risco foram praticamente desprezíveis com alguns pontos espaçados em Cotia na Reserva do Morro Grande e entre Pirapora do Bom Jesus e Santana do Parnaíba no bairro do Suru, o qual possui relevo montanhoso e uma das maiores altitudes da MO.

Observa-se que muitas áreas de risco entre baixíssimo e regular encontram-se afastadas dos rios inundáveis, corroborando que a distância de um pixel da imagem matricial a um curso d'água é inversamente proporcional ao risco de inundação, isto é, quando mais próxima uma região está de uma rede de drenagem, maior é a probabilidade de ser inundável. Áreas com risco acima de moderado eventualmente afastadas de rios principais, como por exemplo, a face norte do município de Santana de Parnaíba em relação ao rio Tietê (espaço em branco na Figura 3), podem ser locais com alta declividade, solo impermeabilizado, rede de drenagem entupida ou deficiência de saneamento.

Com exceção de alguns bairros planejados e de alto padrão como Alphaville em Santana de Parnaíba e Morumbi em São Paulo, a maioria dos distritos dos municípios contidos na MO se desenvolveram de forma desordenada. Estes distritos são caracterizados pela alta densidade demográfica e pelo descarte indevido de resíduos sólidos, os quais contribuem na obstrução do sistema de drenagem de águas pluviais e assoreamento dos rios, intensificando alagamentos e inundações, respectivamente (SABESP, 2018).

O risco médio à inundação da MO é classificado como regular ao valor de 6,53, com desvio padrão de $\pm 1,106$. O município com maior risco é Osasco, classificado como alto, ao valor de 7,11 com desvio padrão de $\pm 1,197$. Já o menor risco é atribuído a Pirapora do Bom Jesus, do tipo regular, ao valor de 5,66 e com desvio padrão de $\pm 1,038$.

O município de Osasco possui este risco por causa do seu bairro Jardim Rochdale, muito conhecido por sofrer inundações nas épocas de chuva, sendo até mesmo televisionado nos programas locais de jornalismo devido à ocorrência regular de alagamentos e inundações. O Rochdale está situado no Braço Morto do rio Tietê que é um lago pluvial em formato de “U” sendo um meandro de baixa vazão, caracterizado pela existência de assentamentos irregulares (favela), resíduos sólidos e palafitas ao longo de suas margens, além de seu leito estar assoreados em determinados pontos. Há um projeto de drenagem por parte da Prefeitura de Osasco que consiste na execução de obras de macrodrenagem, limpeza, desobstrução, e retificação do córrego, além da realocação das famílias situadas em área de risco (PMO, 2015).

A Tabela 10 apresenta de forma quantificada as áreas identificadas para cada zona de risco em hectares e em porcentagem.

Tabela 10: Áreas em hectares e porcentagem por zona de risco.

ZONA DE RISCO	ÁREA (ha)	DISTRIBUIÇÃO (%)
Baixíssimo (2,17 a 3,63)	233,28	0,23
Baixo (3,63 a 5,01)	16.443,86	16,26
Regular (5,01 a 6,54)	53.066,30	52,48
Alto (6,54 a 8,00)	17.649,32	17,45
Altíssimo (8,00 a 9,45)	13.723,71	13,57
Total	101.116,47	100

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que o mapeamento das regiões mais vulneráveis à inundação é mais útil para o planejamento de medidas mitigadoras não estruturais do que a implantação de medidas mitigadoras estruturais, uma vez que enquanto estas compreendem as obras de engenharia (bacias de retenções, retificação e canalização de córregos etc.), as medidas não estruturais priorizam ações que ordenem o território e disciplinem a sociedade e a economia, como por exemplo: atualização / regulamentação de plano diretor, educação ambiental sobre poluição difusa e corpos hídricos, seguro-enchente e sistema de alertas de inundações (TUCCI, 1995; SIMAS, 2017).

A Figura 4 apresenta os polígonos de suscetibilidade à inundação recortados à MO de IPT; CPRM (2014), os quais são 2.805 unidades, com uma área total de 10.762,87 ha, sendo 3.367,09 ha para a classe baixa (31,28% em relação ao todo), 3.332,30 ha para a classe média (30,96%) e 4.063,48 ha para a classe alta (37,76%).

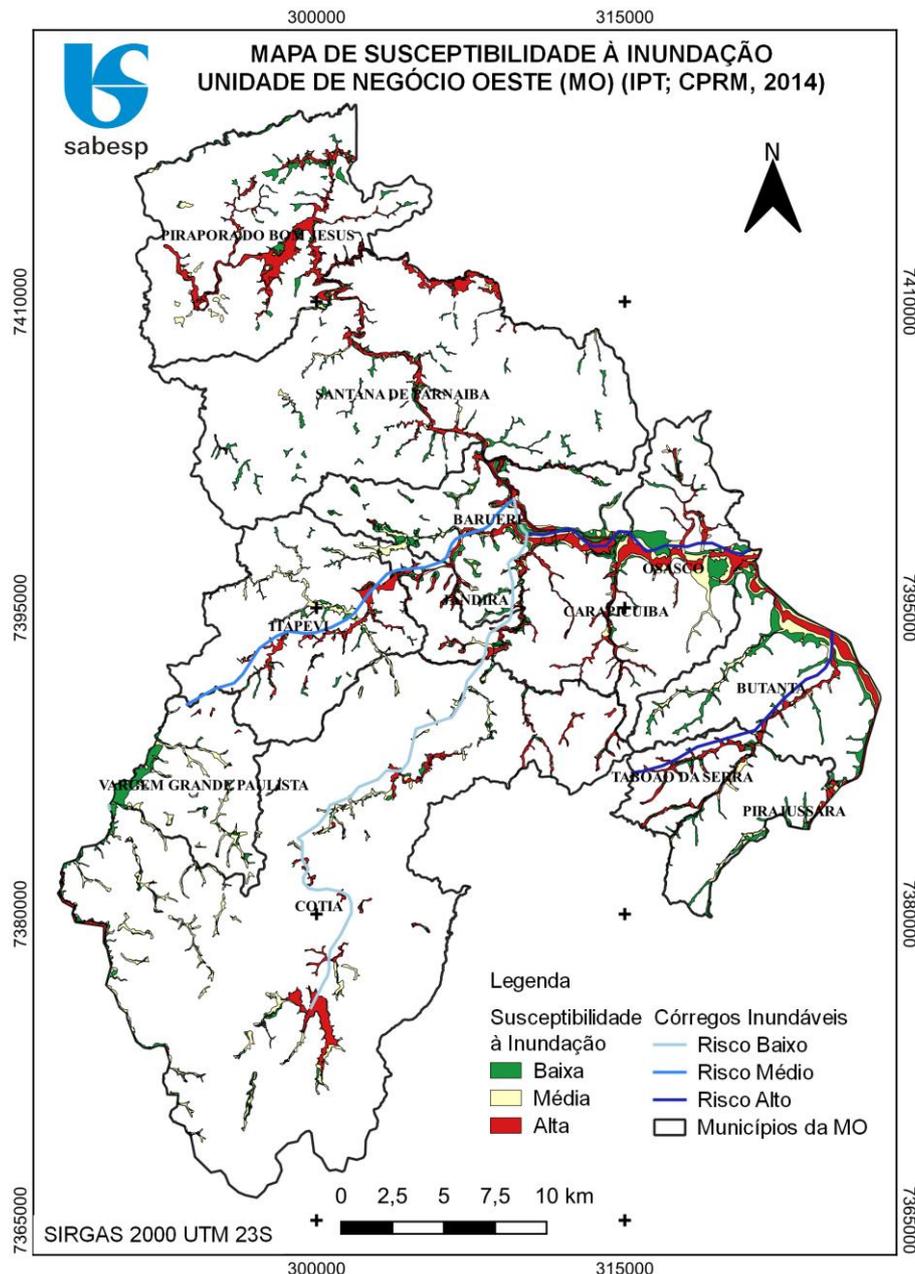


Figura 4: Mapa de suscetibilidade à inundação na MO.
Fonte: IPT; CPRM (2014).

Analisando a Figura 4, nota-se que nas margens do rio Tietê predomina-se a classe de alta suscetibilidade à inundação, especialmente nas águas superficiais do município de Pirapora do Bom Jesus. Isso vale para as margens do rio Pinheiros entre os distritos de Butantã e Pirajussara no município de São Paulo. A represa Pedro Beicht, situada na zona sul do município de Cotia, a qual é também nascente do rio homônimo, também foi classificada como de alta suscetibilidade à inundação, devido ao relevo do local possuir acentuada declividade, o qual aumenta a velocidade do escoamento superficial (SIMAS, 2017). Outro trecho de destaque alta suscetibilidade são as margens do rio Juqueri, afluente do rio Tietê, situado no município de Santana de Parnaíba.

Ainda a analisar a Figura 4, observa-se que a classe de média suscetibilidade possui uma geometria mais fragmentada em relação às outras classes, com destaque às margens do córrego Bussocaba, situado no município de Osasco e regiões situadas no município de Itapevi, próximas da Rodovia Engenheiro Renê Benedito da Silva (SP-274).

Quanto às áreas de baixa suscetibilidade, cor verde, há ênfase para os bairros de Piratininga, Presidente Altino e Jardim Santana Cecília, todos localizados no município de Osasco. O córrego do Jaguaré, situado em Butantã (município de São Paulo) possui predominância desta classe, também. E, finalmente, se destaca no município de Vargem Grande Paulista uma área com aproximadamente 230 ha situada nas cercanias da Rodovia Bunjiro Nakao (SP-250).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelo método AHP se mostraram satisfatórios ao mapeamento do risco de inundações, servindo como alternativa para outros meios que seriam financeiramente inviáveis, como visitas de campo a locais perigosos ou de difícil acesso. Desta forma, este modelo ajuda na tomada de decisões sobre de ordenamento territorial.

Embora a maioria dos problemas de precipitação urbana sejam resolvidos com obras de engenharia de drenagem, não podemos abrandar a importância dos estudos técnicos, os quais contemplam a obrigatoriedade de mapeamento das áreas de maior risco às enchentes. Logo, esta metodologia auxilia na gestão pública para se adotar medidas precisas de controle.

Recomenda-se que as informações obtidas neste trabalho sirvam como orientador aos analistas de saneamento básico, incentivando na elaboração de novos mapeamentos em parceria com a prefeitura dos municípios, como forma de sinalizar e alertar às comunidades situadas em áreas de riscos.

Recomenda-se, ainda, que sejam realizados estudos detalhados nas bacias mais críticas do ponto de vista da prevalência dos eventos de inundação, considerando dados de entrada em escala local, associados a resultados de modelos hidrológicos e hidráulicos, visando auxiliar o planejamento territorial nos locais de altas suscetibilidades a inundações e, até mesmo, evitar que áreas de expansão urbana ou de urbanização futura sofram com as consequências danosas da ocupação urbana desordenada sob o ponto de vista do escoamento superficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. Agência Nacional das Águas. Mapa de Vulnerabilidade à Inundação do Estado de São Paulo. 2014. Disponível em < <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuid=e44b4dbc-e43c-4109-a1b2-709732424a4d>>. Acesso em 10 Out. 2019.
2. BRASIL. Lei nº 4.775, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm. Acesso em: 19 Jan. 2019.
3. BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K.; GUEDES, A.C.M. Texto Diagnóstico do Solo: Desastres Naturais. Meio Ambiente Paulista: Relatório de Qualidade Ambiental 2013. Organização: Edgar Cesar de Barros. São Paulo: SMA/CPLA, 2013. 215p. ISBN 978-85-8156-011-3.
4. CÂMARA, G. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: Inpe, 2001. 345 p.
5. CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Unidades Litoestratigráficas – Mapa Estadual de São Paulo. GeoSGB – Visualizador de mapas GIS. CPRM, 2018. Disponível em < <http://geowebapp.cprm.gov.br/ViewerWEB/>>. Acesso em 10 Fev. 2020.
6. EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Miscelânea, 1).
7. FREITAS, D. F.; MARTINS, I. V. F.; TULER, V. O.; SANTOS, G. M. A. D. A. D.; SANTOS, A. R. Vulnerabilidade de Fasciolose na Área Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santos, IFES, Porto Alegre, ES. Instituto Biológico, São Paulo, v.79, n.4, p.533-540, 2012.



8. HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e Avaliação do Risco de inundação do Rio Cachoeira em Trecho da Área Urbana do Município de Itabuna/BA. *Sociedade & Natureza*, vol. 21, p. 57-75. Uberlândia – MG, 2009.
9. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico de Uso da Terra. Manuais Técnicos em Geociências, nº 7, ed. 3ª. IBGE, Rio de Janeiro, 2013.
10. IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS; CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações – 1:25.000 – Nota Técnica Explicativa. 50 p., 2014.
11. 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 Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, Município de Montes Claros, MG. *Cadernos de Geociências*, v. 9, n.2, 2012.
12. PMO. Prefeitura do Município de Osasco. Plano Municipal de Saneamento Básico de Osasco. Plano Municipal de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais. Osasco, 2015.
13. SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 1991.
14. SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Quem Somos Nós – Conheça a MO. Portal Corporativo [intranet], 2021.
15. SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.
16. SETZER, J.; PORTO, R.L.L. Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do estado de São Paulo. *Boletim Técnico DAEE*, v. 2, n. 2, p. 82-135, 1979.
17. SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OVEIRA, R. A. ; LOURENÇO, R. W. Methodology for potential degradation analysis of water resources in watershed. *Caderno de Geografia*, v. 27, p. 455-466, 2017.
18. SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG an Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. *Revista de Geografia*, v. 31, n. 2, 2014.
19. SIMAS, I. T. H. Análise retrospectiva de episódios de inundações na bacia hidrográfica do rio Aricanduva – São Paulo. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, 169 f. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
20. SIMONETTI, V. C.; FASCARELI, D.; GONTIJO, E. S. J.; MELO, D. S.; FRIESE, K.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. *International Journal of River Basin Management*, v. 17, p. 1-34, 2019.
21. TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.L., BARROS, M. T. (Coord.). Drenagem urbana. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 1995. 430 p.
22. VAZ FILHO, P.; VENTURA, K. S.; CAMPOS-CABALLERO, P.; COMIN, E.T. Proposta de Sinalização em Áreas de Risco Sujeitas a Alagamento em Vias Urbanas par ao Município de São Carlos – SP. In: OTTONI, A. B.; ROSIN, J. A. R. G.; FOLONI, F. M (org.). *Drenagem Urbana: Soluções Alternativas Sustentáveis*, 118 f. Editora ANAP. 2018.

23. VENTURA, K. S. Modelo de avaliação de gerenciamento de resíduos de serviços (RSS) com uso de indicadores de desempenho: estudo – Santa Casa de São Carlos – SP. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2009.
24. ZANIN, V. L.; MELLO, I. S.; PITHAN, P. A. Identificação de Áreas com Risco de Inundação por Meio de Análise Ambiental e Geoprocessamento. In: 12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 2016, Santa Catarina. Anais... Santa Catarina, 11 f., 2016.