CONTRATO Nº 6.018.00/2022

CONTRATAÇÃO DE EMPRESA ESPECIALIZADA PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE REVISÃO E ATUALIZAÇÃO DAS COMPONENTES DA CARTA GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE JACAREÍ, CONFORME DESCRIÇÃO INCLUSA NO ITEM 5 DESTE TERMO DE REFERÊNCIA, CONTEMPLANDO, PARA A CARTA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES, TODA A EXTENSÃO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO, OU SEJA, 464,272KM², PARA A CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO, AS ÁREAS DE POSSÍVEL EXPANSÃO URBANA, QUE COMPREENDEM APROXIMADAMENTE 170KM², E PARA A CARTA DE RISCO, AS LOCALIDADES APONTADAS NA TABELA DO PRODUTO 3. /

RELATÓRIO SÍNTESE – PRODUTO I – R1

Versão	Alteração efetuada	Responsável	Data
R0.0	Versão inicial	Uirá Piá-Uaçu Oliveira Deák	14/08/2023
R1.0	Revisão 1	Uirá Piá-Uaçu Oliveira Deák	22/09/2023

INFORMAÇÕES DO CONTRATANTE

Razão Social:	Prefeitura Municipal de Jacareí Secretaria de Governo e Planejamento – Diretoria de Habitação
CNPJ:	46.694.139/0001-83
Contato	Roberta Guerra Rosemback – Fiscal do contrato Cíntia Franco Alvarenga Abdo – Diretora de Habitação
Endereço:	Praça Dos Três Poderes, 73 – Centro – CEP 12327-170
Município:	Jacareí/SP
Telefone:	(12) 3955-9000 ramal 9490
E-mail:	habitacao@jacarei.sp.gov.br

O serviço será acompanhado pelos profissionais apresentados na matriz de contatos.

Matriz de contatos

FUNÇÃO	NOME DO PROFISSIONAL	E-MAIL
Diretor Executivo	Heber Sultanum	heber@geoja.com.br
Diretor Técnico	Rogério Guimarães	rogerio@geoja.com.br
Gerente de Projetos	Marcelo Faria Renata Xenoktistakis	mfaria@geoja.com.br renata@geoja.com.br
Coordenador Técnico	Uirá Piá-Uaçu Oliveira Deák	uira@geoja.com.br
Coordenadora Administrativa/Financeiro	Luana Andrade	luana@geoja.com.br

SUMÁRIO

CONTRATO Nº 6.018.00/2022 1

SUMÁRIO 2

1. INTRODUÇÃO 4

2. OBJETIVOS 6

3. CONCEITOS BÁSICOS 7

4. PROCESSOS ANALISADOS 12

4.1. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA 12

4.1.1. RASTEJO (*CREEP*): 13

4.1.2. DESLIZAMENTO (*LANDSLIDE*): 15

4.1.2.1. Deslizamento planar 15

4.1.2.2. Deslizamento rotacional 16

4.1.2.3. Deslizamento em cunha 17

4.1.3. QUEDAS OU MOVIMENTOS DE BLOCOS 18

4.1.3.1. Queda de Blocos 18

4.1.3.2. Tombamento de Blocos 18

4.1.3.3. Rolamento de Blocos 19

4.1.3.4. Desplacamento 20

4.1.4. CORRIDAS 20

4.2. PROCESSOS HIDROLÓGICOS 21

4.2.1. INUNDAÇÃO (*FLOODING*) 22

4.2.2. ENXURRADA 23

5. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS 24

5.1. LEVANTAMENTO E ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES SECUNDÁRIAS 25

5.2. ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS (UIRÁ) 26

5.2.1. PADRÕES DE RELEVO 27

5.2.2. FEIÇÕES 28
5.2.3. GEOLOGIA 30
5.2.4. PEDOLOGIA 30
5.2.5. PONTOS DE CAMPO 31
5.2.6. SUSCETIBILIDADE 32
5.3. FOTOINTERPRETAÇÃO DE FEIÇÕES ASSOCIADAS A PROCESSOS 33
5.4. ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO E ZONEAMENTO DAS SUSCETIBILIDADES 34
5.4.1. DESLIZAMENTOS 34
5.4.2. INUNDAÇÕES 41
5.4.2.1. ETAPA 1 – Morfometria da bacia hidrográfica 42
5.4.2.2. ETAPA 2 – Aplicação Modelo HAND 45
5.4.2.3. ETAPA 3 - Integração morfometria e HAND 47
5.4.3. CORRIDAS DE MASSA E ENXURRADAS 47
5.5. ELABORAÇÃO DOS QUADROS-LEGENDA 49
5.6. COMPOSIÇÃO DO PRÉ-MAPA DE SUSCETIBILIDADE 50
5.7. VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE CAMPO 51
5.7.1. PREPARAÇÃO DAS ATIVIDADES DE CAMPO 52
5.7.2. EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES DE CAMPO 52
5.8. REVISÃO DO PRÉ-MAPA E CONSOLIDAÇÃO DA CARTA SÍNTESE 53

6. PROPOSTA DE AÇÕES RELACIONADAS A OCUPAÇÃO 54

7. INDICAÇÃO DE ÁREAS QUE PRECISAM DE DETALHAMENTO 58

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS 59

9. RESPONSABILIDADE TÉCNICA 61

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

ANEXO I – CARTA DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES 66

1. Introdução

O presente documento apresenta o "Relatório Síntese do Produto I" referente ao Contrato Nº 6.018.00/2022, firmado entre o Prefeitura Municipal de Jacareí/SP e a empresa Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA. O Objeto do contrato é a "contratação de empresa especializada para prestação de serviços de revisão e atualização das componentes da carta geotécnica do município de Jacareí, conforme descrição inclusa no item 5 deste termo de referência, contemplando, para a carta de suscetibilidade a deslizamentos e inundações, toda a extensão territorial do município, ou seja, 464,272 km², para a carta geotécnica de aptidão à urbanização, as áreas de possível expansão urbana, que compreendem aproximadamente 170 km², e para a carta de risco, as localidades apontadas na tabela do produto 3.").

O texto apresentado constitui relatório síntese com as especificações técnicas e metodológicas que nortearam os trabalhos cartográficos de mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações, bem como a estruturação dos dados geoespaciais do projeto. Aborda, ainda, os procedimentos para a validação em campo dos pré-mapas oriundos de produtos da modelagem espacial. A área de abrangência do projeto corresponde a toda a extensão territorial do Município de Jacareí, aproximadamente 464,272 km², conforme pode ser observado na **Figura 1**.

A carta indica áreas suscetíveis a fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode gerar desastres naturais. De fato, o conhecimento prévio das suscetibilidades dos terrenos à geração e desenvolvimento de fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode ocasionar desastres naturais é de grande importância aos municípios, contribuindo para o planejamento do uso e ocupação do solo, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos e, ainda, no âmbito regional, auxiliar na elaboração de zoneamentos ecológico-econômicos. A caracterização do grau de suscetibilidade a determinado processo do meio físico em uma área específica deve impor as correspondentes medidas de restrição à ocupação, de modo a evitar a formação de novas áreas de risco, bem como induzir o desenvolvimento de normas

técnicas e práticas que possam assegurar o uso adequado do solo em áreas não ocupadas e fomentar ações voltadas à redução de riscos em áreas ocupadas, especialmente nas urbanizadas.

Figura 1 - Área de abrangência do projeto

Considerando a representatividade territorial dos processos analisados, ante a escala de referência estabelecida, adotou-se, para fins de edição final do produto cartográfico de síntese, a denominação carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações. Essa opção se deve ao fato de que a maior parte dos terrenos suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa analisados mostra-se compatível no que se refere a sua expressão em área, enquanto que, no caso dos processos hidrológicos, isso se verifica especialmente em relação às inundações, aspecto que motiva o destaque na denominação. Não obstante, dados e informações sobre todos os processos analisados encontram-se incluídos nos produtos finais dos trabalhos realizados.

2. Objetivos

O objetivo precípuo dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis apresentados neste Relatório Síntese é instrumentalizar a prefeitura municipal em suas ações de planejamento e gestão territorial e de prevenção de desastres naturais.

Entre os objetivos específicos dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis, destacam-se:

- Gerar carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a processos hidrológicos, tanto em relação às áreas não ocupadas quanto às ocupadas, em bases cartográficas similares e em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), integrando todos os dados obtidos em uma Base de Dados;
- Sintetizar os principais resultados do mapeamento em um documento cartográfico, denominado carta síntese, contendo o zoneamento das suscetibilidades e outras informações correlatas de interesse, apresentado em linguagem acessível a um público o mais amplo possível;
- Salientar as suscetibilidades incidentes nas áreas urbanizadas e/ou edificadas, que correspondem aos locais onde se concentra a maior parte das populações residentes, as quais podem estar sujeitas aos processos abordados;
- Estabelecer indicadores que forneçam uma estimativa da magnitude dessa incidência em relação às populações residentes e facilitem a comunicação com os tomadores de decisão e as comunidades envolvidas, acerca da priorização de ações preventivas a realizar; e
- Editar os produtos cartográficos gerados em formato digital, para disponibilização ao município, de modo a que possam ser utilizados como subsídio à revisão de planos diretores, bem como à elaboração de cartas geotécnicas de aptidão urbana e de áreas de risco, entre outros instrumentos de planejamento e gestão territorial.

3. Conceitos básicos

Embora as últimas décadas tenham assistido a um crescente avanço técnico-científico em relação à área de conhecimentos sobre riscos naturais, a terminologia usualmente empregada pelos profissionais que atuam com o tema ainda encontra algumas variações e divergências em sua definição. Termos como evento, acidente, desastre, perigo, ameaça, suscetibilidade, vulnerabilidade, risco e o muito discutido "*hazard*", ainda não encontraram definições unânimes entre os seus usuários (BRASIL, 2007).

O conceito de suscetibilidade pode ser sintetizado como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. (FELL *et al.*, 2008; JULIÃO et al., 2009; SOBREIRA e SOUZA, 2012; DINIZ, 2012; COUTINHO, 2013; BRESSANI e COSTA, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013, BITAR 2014).

Uma área cujos terrenos apresentam características que tendem a favorecer, por exemplo, a ocorrência de deslizamentos, como o predomínio de declividade alta, pode ser considerada propensa a esse tipo de processo, independente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade. A declividade se salienta, então, como um dos fatores predisponentes ao desenvolvimento do processo e, por essa razão, passível de inclusão entre os parâmetros necessários à análise de suscetibilidade. Evidencia-se, assim, o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos, base para a compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade (BITAR, 2014)

É importante também distinguir outros termos usualmente empregados na prevenção de desastres naturais, como o de *ameaça*, *vulnerabilidade*, *perigo* e *risco*.

Esses conceitos foram resumidos sucintamente conforme o colocado na sequência:

- ***Suscetibilidade:*** propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área;
- ***Ameaça:*** fenômeno ou processo cuja dinâmica pode gerar consequências negativas (perdas e danos) em relação aos elementos expostos;
- ***Vulnerabilidade:*** grau de perdas e danos associados aos elementos expostos (0 a 1); quanto maior o grau, maior a vulnerabilidade;
- ***Severidade:*** capacidade de um evento para a geração de perdas e danos; magnitude do evento;
- ***Perigo:*** condição com potencial para a geração de perdas e danos num dado período de tempo; periculosidade ou perigosidade;
- ***Risco:*** uma medida da ameaça e das consequências (financeiras, bens, vidas) que esta poderá causar num dado intervalo de tempo;

A relação entre os termos pode ser ilustrada em uma dada área a partir da delimitação das zonas de suscetibilidade e de uso e ocupação do solo. A intersecção define a zona de elementos expostos, a qual deve ser objeto de análises específicas em relação a perigo e risco (**Figura 2**).

Zona de elementos expostos

Figura 2 - Localização da zona de elementos expostos

(Adaptado de JULIÃO *et al.*, 2009).

Também é importante conceituar os termos *desastre natural* e *resiliência*. O significado de desastre natural encontra-se difundido pela Estratégia das Nações Unidas para a Redução de Desastres (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* - UNISDR, 2009). Trata-se de situações de ruptura do funcionamento normal de um dado contexto socioeconômico, local ou regional, decorrentes de eventos associados a fenômenos ou processos naturais, cujas consequências alcançam dimensões que superam a capacidade das comunidades afetadas em recuperar o ambiente impactado com recursos próprios, sendo necessário recorrer à ajuda externa.

Já o termo *resiliência* é utilizado em estudos sobre desastres naturais para expressar a capacidade de uma comunidade exposta ao perigo e ao risco em resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se dos efeitos de um evento, em tempo adequado e de forma eficaz, o que inclui a preservação e a restauração de suas estruturas e funções básicas (UNISDR, 2009). A resiliência está diretamente associada às ações de gestão de risco executadas pela comunidade, visto que essa capacidade tende a ser consolidada por meio do desenvolvimento de requisitos fundamentais, como:

- Conhecimento das áreas de risco (expresso, por exemplo, em cartas de risco);
- Existência de diretrizes organizadas em documentos oficiais, como plano diretor municipal e plano de defesa civil;
- Organização do poder público no âmbito de uma coordenadoria municipal de defesa civil;
- Organização da população em núcleos comunitários de defesa civil; organização conjunta população/poder público por meio de conselhos ou comitês locais de defesa civil;
- Existência de sistemas de alerta;
- Existência de infraestrutura de abrigo provisório; e
- Existência de hospitais próximos às áreas de risco, preparados para contingências.

No âmbito nacional a Lei Federal 12.608, instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (**Figura 3**). Essa lei vem auxiliar e complementar a Lei 6.766 de 1979, que dispõe sobre parcelamento do solo urbano (Brasil, 1979) e a Lei 10.257 de 2001, que institui o Estatuto das Cidades. Dentro desta política objetiva-se a realização de estudos de identificação e avaliação de áreas suscetíveis, que em outras palavras significa a realização de mapeamento de suscetibilidade que podem delimitar áreas propensas ao acontecimento de acidentes (BARELLA, 2016).

Figura 3 - Cartas Geotécnicas voltadas ao planejamento urbano dos municípios segundo PNPDEC.

(Adaptado de BARELLA, 2016)

Um dos objetivos centrais da PNPDEC é o de promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, de modo a evitar ou reduzir a ocorrência de desastres (Artigo 5º, Inciso VII).

A Lei estabelece, no Artigo 6º, a criação de um cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos e inclui o mapeamento dessas áreas entre as ferramentas essenciais à prevenção de desastres.

As outras ferramentas municipais apontadas na Lei, para as quais o mapeamento de áreas suscetíveis constitui subsídio fundamental, são:

- Plano de contingência de proteção e defesa civil;
- Plano de implantação de obras e serviços;
- Mecanismos de controle e fiscalização; e
- Carta geotécnica de aptidão à urbanização.

A Lei especifica também que os mecanismos de controle e fiscalização se destinam a evitar a edificação em áreas suscetíveis, o que pressupõe conhecer previamente a localização dessas áreas.

Além disso, o plano diretor municipal deve conter as áreas suscetíveis (Artigo 26º) e a aprovação de novos projetos de parcelamento do solo urbano fica vinculada ao atendimento dos requisitos contidos na carta geotécnica de aptidão à urbanização (Artigo 27º), cuja elaboração também requer o mapeamento prévio das suscetibilidades a processos do meio físico.

Destarte, as análises de suscetibilidade explicitadas neste relatório síntese referem-se à indicação de áreas propensas ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, devido a presença de fatores predisponentes básicos em terrenos ocupados e não ocupados. Assim sendo, não inclui qualquer tipo de avaliação acerca de perigo ou risco. Nesse contexto, as áreas propensas indicadas correspondem às áreas suscetíveis, assim denominadas no âmbito da PNPDEC.

4. Processos analisados

De acordo com Bitar (2014) a definição da tipologia de processos do meio físico a analisar para fins de mapeamento de áreas suscetíveis se fundamenta na potencialidade para a geração de desastres naturais, de acordo com registros históricos disponíveis no País. Para isso, utilizam-se classificações básicas encontradas em manuais técnicos e publicações de síntese, como os de Guidicini e Nieble (1976), Cunha *et al.* (1991), Augusto Filho (1992), Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998), Carvalho, Macedo e Ogura (2007), Highland e Bobrowsky (2008), Tominaga, Santoro e Amaral (2009), Santos (2012), Bressani (2013) e Ministério das Cidades (2013), distinguindo-se, então, dois grupos principais: os movimentos gravitacionais de massa; e os processos hidrológicos.

A seguir são explicados os processos caracterizados na área de estudo.

4.1. Movimentos gravitacionais de massa

A classificação dos processos que foram analisados durante a execução dos trabalhos é baseada na proposta de Augusto Filho (1992), a qual descreve características, materiais envolvidos, velocidade e geometria dos movimentos de massa com ocorrência mais comum nas encostas do território nacional e resumidas na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Classificação de movimentos de massa

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/ MATERIAL/GEOMETRIA
RASTEJO (CREEP)	vários planos de deslocamento (internos)
	velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade
	movimentos constantes, sazonais ou intermitentes
	solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
	geometria indefinida
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	poucos planos de deslocamento (externos)
	velocidades médias (m/h) a altas (m/s)
	pequenos a grandes volumes de material
	geometria e materiais variáveis:
	PLANARES: solos poucos espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza
	CIRCULARES: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
	EM CUNHA: solos e rochas com dois planos de fraqueza

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/ MATERIAL/GEOMETRIA
QUEDAS (FALLS)	sem planos de deslocamento
	movimento tipo queda livre ou em plano inclinado
	velocidades muito altas (vários m/s)
	material rochoso
	pequenos a médios volumes
	geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.
	ROLAMENTO DE MATACÃO
	TOMBAMENTO
CORRIDAS (FLOWS)	muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)
	movimento semelhante ao de um líquido viscoso
	desenvolvimento ao longo das drenagens
	velocidades médias a altas
	mobilização de solo, rocha, detritos e água
	grandes volumes de material
	extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

(Adaptado de AUGUSTO FILHO, 1992)

Os movimentos de massa formam rupturas complexas, que podem incluir mais de um tipo (deslizamento e quedas, por exemplo) (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). Os movimentos gravitacionais de massa são conceituados a seguir.

4.1.1. Rastejo (*creep*):

Os rastejos são movimentos lentos, que envolvem grandes massas de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (mm a cm/ano). Esse processo atua sobre os horizontes superficiais do solo, bem como, nos horizontes de transição solo/rocha e até mesmo em rocha, em profundidades maiores. Também é incluído neste grupo o rastejo em solos de alteração (originados no próprio local) ou em corpos de tálus (tipo de solo proveniente de outros locais, transportado para a situação atual por grandes movimentos gravitacionais de massa, apresentando uma disposição caótica de solos e blocos de rocha, geralmente, em condições de baixa declividade).

O deslocamento lento da massa possibilita detectar previamente a presença de feições de instabilização, como trincas no solo, degraus de abatimento, deformações na superfície e surgências d'água na base da encosta.

Pode ser deflagrado por eventos de chuvas de longa duração e altos índices pluviométricos acumulados, que acarretam a elevação progressiva do nível d'água subterrâneo e tendem a instabilizar os terrenos. Desenvolve-se segundo superfícies de ruptura irregulares e pode ser acelerado por intervenções humanas efetuadas no sopé da encosta afetada. Pode ocorrer de modo isolado ou associado a deslizamento. A **Figura 4** traz um perfil esquemático do processo e a **Figura 5** apresenta um exemplo de ocorrência no município de Jacareí/SP

Figura 4 - Esquema para a ocorrência de rastejo

Figura 5 - Rastejo no município de Jacareí (P.22) (08/2023)

4.1.2. Deslizamento (*landslide*):

É um movimento caracterizado por velocidade alta, que se desenvolve comumente em encostas com declividade e amplitude média a alta e segundo superfície de ruptura planar (translacional), circular (rotacional) ou em cunha (acompanhando planos de fragilidade estrutural dos maciços terrosos ou rochosos). É geralmente deflagrado por eventos de chuvas de alta intensidade ou com elevados índices pluviométricos acumulados, condicionados por fatores predisponentes intrínsecos aos terrenos. O processo é também denominado escorregamento.

A **Figura 6** apresenta cicatriz de deslizamento ocorrido no município de Jacareí e avaliada durante trabalhos de campo.

Figura 6 - Deslizamento (P 18). (08/2023)

Tendo em vista a geometria e as características dos materiais instabilizados, os deslizamentos são subdivididos em três tipos: planar, rotacional e em cunha.

4.1.2.1. Deslizamento planar

Esse grupo constitui o tipo de deslizamento mais frequente no Brasil. Normalmente, desenvolve-se durante ou logo após intensos episódios de chuva. Caracteriza-se por curta duração e rápido deslocamento de materiais, os quais

se movimentam segundo planos de fraqueza associados às heterogeneidades geológicas, geotécnicas ou hidrológicas do maciço. Os materiais transportados são constituídos por rocha, solo ou solo e rocha (GERSCOVICH, 2012; TOMINAGA, 2012b)

Os deslizamentos planares ocorrem, predominantemente, em solos pouco desenvolvidos em vertentes com altas declividades. O movimento é condicionado por estruturas geológicas planares desfavoráveis a estabilidade, tais como: xistosidade, fraturamento, foliação, e seu poder de destruição é normalmente grande, com variações em função do volume e material deslocado (BRASIL, 2014; TOMINAGA, 2012b). A **Figura 7** ilustra os escorregamentos planares

Figura 7 - Esquema para ocorrência de escorregamentos planares ou translacionais

4.1.2.2. Deslizamento rotacional

São movimentos mais lentos que os planares e ocorrem de maneira contínua ou intermitente, segundo uma ou mais superfícies de ruptura curvas, com concavidade voltada para cima, conforme pode ser visto na **Figura 8**. O fenômeno é comum em regiões montanhosas tropicais (GERSCOVICH, 2012), ocorrendo em encostas com espessos pacotes homogêneos de solo, aterros, rochas sedimentares ou maciços rochosos intensamente fraturados. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais.

Figura 8 - Esquema para ocorrência de escorregamentos circulares

4.1.2.3. Deslizamento em cunha

Os deslizamentos em cunha estão associados a saprolitos e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao logo do eixo de intersecção destes planos. São comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico.

Figura 9 - Esquema para ocorrência de escorregamento em cunha

4.1.3. Quedas ou movimentos de blocos

São movimentos rápidos de blocos e/ou lascas de rocha que caem pela ação da gravidade, sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre, sendo divididos em 4 tipos:

- Quedas livres;
- Rolamentos;
- Tombamentos;
- Desplacamentos de rochas

4.1.3.1. Queda de Blocos

Envolve materiais rochosos de volume e litologia diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se deslocam em movimentos tipo queda livre. A **Figura 10** apresenta um diagrama esquemático desse processo de movimento de massa.

Figura 10 - Esquema para ocorrência de queda de blocos

4.1.3.2. Tombamento de Blocos

Movimento que se dá pela rotação de blocos rochosos, condicionado por estruturas geológicas no maciço rochoso, com grande mergulho. A **Figura 11** expõe um esquema do tombamento de blocos.

Figura 11 - Esquema para ocorrência de tombamentos de blocos

4.1.3.3. Rolamento de Blocos

Movimento de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas, que ocorre geralmente pela perda de apoio. A **Figura 12** traz um esquema para a ocorrência de rolamento de blocos

Figura 12 - Esquema para ocorrência de rolamentos de blocos

4.1.3.4. Desplacamento

Consiste no desprendimento de lascas ou placas de rocha que se formam a partir de estruturas (xistosidade, acamamento) que ocorre devido às variações térmicas ou por alívio de pressão, o movimento pode se dar em queda livre ou por deslizamento ao longo de superfícies inclinadas. A **Figura 13** ilustra a ocorrência de desplacamento de rochas.

Figura 13 - Esquema de ocorrência de desplacamento de blocos

4.1.4. Corridas

As corridas de massa são movimentos gravitacionais na forma de escoamento rápido, envolvendo grandes volumes de materiais. Caracterizam-se por uma dinâmica híbrida, regida pela mecânica dos sólidos e dos fluidos, pelo grande volume de material envolvido e pelo extenso raio de alcance que possuem (até alguns quilômetros), apresentando alto potencial destrutivo.

São movimentos gravitacionais de massa complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte (BRASIL, 2007).

Estes fenômenos são mais raros que os deslizamentos, porém podem provocar conseqüências de magnitudes superiores, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas (BRASIL, 2007).

As corridas de massa abrangem uma gama variada de denominações na literatura nacional e internacional (corrida de lama, mud flow, corrida de detritos, corrida de blocos, debris flow, etc.), principalmente em função de suas velocidades e das características dos materiais que mobilizam (BRASIL, 2007).

A **Figura 14** apresenta um bloco diagrama representando uma corrida de massa esquemática.

Figura 14 - Bloco diagrama representando uma corrida de massa esquemática

4.2. Processos hidrológicos

Os processos hidrológicos analisados para fins de mapeamento de áreas suscetíveis foram inundação e enxurrada. Entretanto, ressalta-se que esses dois processos não foram objeto de mapeamento específico e, deste modo, não se encontram individualizados nos produtos cartográficos finais.

4.2.1. Inundação (*flooding*)

Inundação é oi processo em que ocorre o atingimento e submersão da planície aluvial pelo transbordamento das águas do canal principal do rio (*river flooding*), devido à evolução do processo de enchente ou cheia (*flood*). Caracteriza-se pela elevação temporária do nível d'água relativo ao leito regular do canal em uma dada bacia de drenagem, comumente em razão do acréscimo de vazão d'água ocasionado por eventos chuvosos de longa duração e elevados índices pluviométricos acumulados. Os excessos d'água podem alcançar a planície aluvial atual (leito menor, várzea) e os terraços fluviais antigos (leito maior), topograficamente alçados em relação à cota da planície aluvial atual, bem como outros terrenos mais elevados, situados em flancos de encostas adjacentes (BITAR, 2014; CEMADEN, 2022a). A **Figura 15** traz um perfil esquemático do processo de enchente e inundação.

Figura 15 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação

Na incidência de inundações, incluem-se, por correlação, alagamento (acúmulo momentâneo de água ante a dificuldade de escoamento superficial em terrenos com baixa declividade ou por deficiência ou baixa capacidade de escoamento do sistema de drenagem) e assoreamento (formação de depósitos em leito regular de curso d'água ou planície de inundação, em decorrência do acúmulo concentrado de sedimentos transportados) (BITAR, 2014).

4.2.2. Enxurrada

A enxurrada pode ser identificada como a enchente ou inundação brusca e de curta duração, desenvolvida em bacias de drenagem restritas no contexto de relevo serrano ou morros altos, por ocasião de chuvas intensas. Caracteriza-se por alta energia de transporte e capacidade de arraste, com elevado potencial de impacto destrutivo. Pode induzir a instabilização e solapamento de taludes marginais ao longo do curso d'água. (BITAR, 2014; CEMADEN, 2022b)

Nas cidades, quando a chuva é muito forte e os bueiros e as tubulações não tem capacidade para transportar toda a água, pode ocorrer uma enxurrada em poucos minutos. As enxurradas podem arrastar veículos, pessoas, animais e mobílias por vários quilômetros. A força das águas pode ainda provocar o rolamento de blocos de pedras, arrancar árvores, destruir edificações e causar corrida de massa CEMADEN, 2022b).

A **Figura 16** exemplifica a ocorrência de enxurradas em meio urbano.

Figura 16 – Enxurrada e escoamento concentrado das águas pluviais em meio urbano

5. Metodologia e procedimentos utilizados

Para o desenvolvimento do presente estudo foi seguido o exposto em Bitar (2014) em relação à metodologia de trabalho. Nesse contexto, considera-se que o zoneamento pretendido se enquadra no nível básico, especialmente em razão do objetivo geral de formação de bases tecnológicas para o aprimoramento contínuo do mapeamento de áreas suscetíveis no País e da carência de dados disponíveis na escala de referência (1:25.000).

Também em razão da escala, tanto para fins de elaboração quanto de apresentação, pode-se afirmar que o zoneamento situa-se na interface entre regional e local, ou seja, representativo de trabalhos efetuados em caráter semirregional ou de semidetalhe.

A concepção geral e os procedimentos básicos utilizados para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e a inundações estão sintetizados na **Figura 17**.

Figura 17 - Sequência de procedimentos básicos seguidos para o desenvolvimento das cartas de suscetibilidade.

5.1. Levantamento e organização de informações secundárias

Nesta etapa realizou-se a avaliação, validação e pré-processamento dos insumos fornecidos pelo Prefeitura Municipal de Jacareí/SP para atualização da carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações.

Inicialmente os insumos fornecidos pela prefeitura foram validados quanto a integridade dos arquivos digitais. Para tanto os mesmos foram abertos em seus softwares nativos. Foram conferidos 107 arquivos do tipo CAD referentes a levantamento planialtimétrico na escala 1:10.000; 225 arquivos CAD referentes a levantamento planialtimétrico na escala 1:1.000 e 7 arquivos do tipo *shapefile*.

Foram verificadas questões relacionadas a completude dos dados, isto é, se os mesmos abrangiam toda a área do projeto a partir do arquivo *shapefile* de abrangência do município fornecido pela prefeitura.

Adicionalmente, foram disponibilizados os mapas bases da CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES realizado em 2017 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) no âmbito das atividades do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos Geológicos (PDN), estabelecido pelo Decreto Estadual 57.512/2011 e coordenado pela Casa Militar/Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado de São Paulo (CMilitar/CEDEC), em cooperação com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e apoio da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo (SDECTI).

Em terceiro lugar, adquiriu-se as imagens do satélite CBERS 4A. O satélite CBERS 04A, assim como os anteriores, é equipado com câmeras para observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados e monitoramento ambiental.

Adicionalmente também foram levantados junto ao IBGE, SGB e EMBRAPA mapas e informações cartográficas em todas as escalas disponíveis considerando os temas pertinentes ao trabalho.

5.2. Estruturação e organização da base de dados

Os dados foram divididos em dois diretórios principais: Base e Produtos. O diretório "Base" contém os dados correspondentes às bases planialtimétricas ou topográficas, compostas por curvas de nível, pontos cotados, hidrografia, limites municipal e estadual, sistema viário, área urbanizada e toponímia, e ortofotos.

O diretório "Produtos" contém os grupos de dados obtidos ou desenvolvidos no âmbito dos trabalhos realizados, como Modelo Digital de Terreno (MDT), Declividade, Relevo Sombreado, Padrões de Relevo, Feições, Geologia, Pedologia, Isoietas, Hietogramas e Equações IDF, Fotos de Campo, Suscetibilidade, Pontos Selecionados. Os dados vetoriais gerados foram armazenados em formato geopackage e os arquivos matriciais em formato *geotiff*. A estrutura geral da Base de Dados é apresentada na **Figura 18**.

Figura 18 - Estrutura geral da Base de Dados

Nesta etapa também foi executada a estruturação do banco de dados, com a definição dos campos das tabelas de atributos de cada plano de informação vetorial, com a apresentação do tipo, tamanho, descrição, domínio e requisitos de cada coluna da sua tabela de atributos. Os tópicos subsequentes apresentam detalhadamente essas informações para cada plano de informação integrante desse projeto de mapeamento.

5.2.1. Padrões de relevo

A **Tabela 2** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema padrões de relevo.

Tabela 2 – Estrutura da tabela de atributos do tema padrões de relevo

Classe				Primitiva geométrica		
Padroes_de_Relevo				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
PADRÃO	Texto	100	Classifica o padrão de relevo predominante	A ser preenchido	Consultar Biblioteca de Padrões de Relevo	NÃO NULO
COD_REL	Texto	10	Código referente ao padrão de relevo predominante	A ser preenchido	Consultar Biblioteca de Padrões de Relevo	NÃO NULO
AMPLITUDE_M	Texto	15	Classifica a amplitude predominante em metros	A ser preenchido	Consultar Biblioteca de Padrões de Relevo	NÃO NULO
DECL_PER	Texto	15	Classifica a declividade predominante em percentual	A ser preenchido	Consultar Biblioteca de Padrões de Relevo	NÃO NULO
DECL_GRAU	Texto	15	Classifica a declividade predominante em graus	A ser preenchido	Consultar Biblioteca de Padrões de Relevo	NÃO NULO
AREA_KM2	Duplo	Automático	Área em Km²		Cálculo automático	NÃO NULO
OBS	Texto	200	Comentários sobre se há ocupação alterando a suscetibilidade modelada	A ser preenchido		NULO
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

5.2.2. Feições

A **Tabela 3** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema feições erosivas ponto.

Tabela 3 – Estrutura da tabela de atributos do tema feições erosivas pontuais

Classe				Primitiva geométrica		
Feicoes_Erosivas_P				Ponto		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
TIPO	Texto	100	Indica o tipo do processo dominante	Ravina		NÃO NULO
				Voçoroca		
				Laminar		
FONTE	Texto	10	Classifica o ponto quanto à forma de obtenção da informação	Fotointerpretação		NÃO NULO
				Levantamento de campo		
OBS	Texto	200	Informação complementar	A ser preenchido		NULO
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

A **Tabela 4** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos cicatriz ponto.

Tabela 4 – Estrutura da tabela de atributos do tema cicatriz pontual

Classe				Primitiva geométrica		
Cicatriz_Ponto_P				Ponto		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
TIPO	Texto	100	Indica o tipo do processo dominante, conforme Augusto Filho (1992).	Corrida de massa		NÃO NULO
				Deslizamento		
				Movimento de blocos		
				Não identificado		
CONDICIONA	Texto	50	Indica o tipo de condicionante dominante	Processo Natural		NÃO NULO
				Processo Induzido		
				Não identificado		
FONTE	Texto	10		Fotointerpretação		NÃO NULO

Classe				Primitiva geométrica		
Cicatriz_Ponto_P				Ponto		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
			Classifica o ponto quanto à forma de obtenção da informação	Levantamento de campo		
				Dados de levantamentos existentes		
OBS	Texto	200	Informação complementar	A ser preenchido		NULO
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

A **Tabela 5** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema cicatriz área.

Tabela 5 – Estrutura da tabela de atributos do tema cicatriz área

Classe				Primitiva geométrica		
Cicatriz_Area_A				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
TIPO	Texto	100	Indica o tipo do processo dominante, conforme Augusto Filho (1992).	Corrida de massa		NÃO NULO
				Deslizamento		
				Movimento de blocos		
				Não identificado		
CONDICIONA	Texto	50	Indica o tipo de condicionante dominante	Processo Natural		NÃO NULO
				Processo Induzido		
				Não identificado		
AREA_KM2	Duplo	Automático	Área em Km²		Cálculo automático	NÃO NULO
FONTE	Texto	10	Classifica o polígono quanto à forma de obtenção da informação	Fotointerpretação		NÃO NULO
				Levantamento de campo		
				Dados de levantamentos existentes		
OBS	Texto	200	Informação complementar	A ser preenchido		NULO
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

5.2.3. Geologia

A **Tabela 6** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema geologia.

Tabela 6 – Estrutura da tabela de atributos do tema geologia

Classe				Primitiva geométrica		
Geologia				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
AREA_KM2	Duplo	Automático	Área em Km²		Cálculo automático	NÃO NULO
LEGENDA	Texto	100	Descrição da formação geológica ou litologia	A ser preenchido		NÃO NULO
FONTE	Texto	200	Referência do trabalho utilizado	A ser preenchido		NÃO NULO

A **Tabela 7** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema geologia estrutural.

Tabela 7 – Estrutura da tabela de atributos do tema geologia estrutural

Classe				Primitiva geométrica		
Geologia_Estrutural				Linha		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
LEGENDA	Texto	100	Descrição da estrutura	A ser preenchido		NÃO NULO
FONTE	Texto	200	Referência do trabalho utilizado	A ser preenchido		NÃO NULO

5.2.4. Pedologia

A **Tabela 8**Tabela 2 apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos pedologia.

Tabela 8 – Estrutura da tabela de atributos do tema pedologia

Classe				Primitiva geométrica		
Pedologia				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
AREA_ha	Duplo	Automático	Área em hectares		Cálculo automático	NÃO NULO
LEGENDA	Texto	100	Classificação do tipo de solo	A ser preenchido	Ex: Gleissolo	NÃO NULO
FONTE	Texto	200	Referência do trabalho utilizado	A ser preenchido		NÃO NULO

5.2.5. Pontos de campo

A **Tabela 9** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema pontos de campo.

Tabela 9 – Estrutura da tabela de atributos do tema pontos de campo

Classe				Primitiva geométrica		
Pontos_de_campo_P				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
DATA	Texto	20	Data da coleta	A ser preenchido	ex.: Agosto/2023	NÃO NULO
UTM_E	Duplo	Automático	Coordenada UTM Leste em metros	A ser preenchido		NÃO NULO
UTM_N	Duplo	Automático	Coordenada UTM Norte em metros	A ser preenchido		NÃO NULO
ALT_GPS	Duplo	Automático	Altitude obtida pelo GPS em metros	A ser preenchido		NÃO NULO
PONTO	Texto	5	Identificação do ponto	A ser preenchido		NÃO NULO
DESCRI_1	Texto	200	Comentários	A ser preenchido		NÃO NULO
OBS	Texto	200	Comentários sobre se há ocupação alterando a suscetibilidade modelada	A ser preenchido		NULO
FOTO	Texto	254	Identificação da foto	A ser preenchido		NÃO NULO
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

5.2.6. Suscetibilidade

A **Tabela 10** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema suscetibilidade à movimentos de massa.

Tabela 10 – Estrutura da tabela de atributos do tema movimentos de massa

Classe				Primitiva geométrica		
Movimento_de_Massa_A				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
PROCESSO	Texto	50	Indica o tipo do processo dominante	Deslizamento		NÃO NULO
CLASSE	Texto	50	Classifica a suscetibilidade predominante no polígono	Alta		NÃO NULO
				Média		
				Baixa		
OBS	Texto	200	Informação complementar	A ser preenchido		NULO
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

A **Tabela 11** apresenta a estrutura do banco de dados e as informações georreferenciadas a serem inseridas na tabela de atributos do tema suscetibilidade à inundação.

Tabela 11 – Estrutura da tabela de atributos do tema suscetibilidade à inundação

Classe				Primitiva geométrica		
Inundacao_A				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
MUNICIPIO	Texto	50	Nome do município	JACAREÍ	Preencher por extenso, em maiúsculo. Pode acentuar. Ex.: JACAREÍ	NÃO NULO
UF	Texto	2	Sigla da unidade federativa	SP	(Preencher em maiúsculo. EX:SP)	NÃO NULO
PROCESSO	Texto	50	Indica o tipo do processo dominante	Inundação, alagamento e assoreamento		NÃO NULO
CLASSE	Texto	50	Classifica a suscetibilidade predominante no polígono	Alta		NÃO NULO
				Média		
				Baixa		
OBS	Texto	200	Informação complementar	A ser preenchido		NULO

Classe				Primitiva geométrica		
Inundacao_A				Polígono		
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**	**Descrição**	**Requisito**
EXECUCAO	Texto	50	Indicação do órgão e ano de execução	Geojá Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA (2023)	Indicação do órgão e ano de execução	NÃO NULO
PROJETO	Texto	200	Nome do projeto	Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Jacareí/SP	Contrato Nº 6.018.00/2022	NÃO NULO

5.3. Fotointerpretação de feições associadas a processos

Bitar (2014) descrevem que a identificação das feições associadas a movimentos de massa e inundações auxiliam na validação dos zoneamentos preliminares, além de caracterizar susceptibilidades locais. No presente estudo este procedimento foi realizado por meio de interpretação em diferentes escaladas espaciais e temporais de imagens de satélite dentro da plataforma *Google Earth* e no software Arc Gis Pro a partir do uso de Imagens do satélite CBERS (Resolução espacial: 2 m), o MDE gerado anteriormente e o mapa de sombras entre outros.

Entre as feições cartografadas, foram identificadas 474 cicatrizes de deslizamento no lapso de 20 anos, 84 ravinas e 104 boçorocas. Na **Tabela 12** são apresentados alguns exemplos das feições.

Tabela 12 – Exemplos ilustrativos de fotointerpretação de feições associadas e processos de movimentos de massa

Feição	Exemplo ilustrativo (sem escala)	Coordenadas
Deslizamento		396.432,12E 7.419.952,06N

Feição	Exemplo ilustrativo (sem escala)	Coordenadas
Ravinas e boçorocas		405.543,66E 7.423.549,89N

5.4. Análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades

As suscetibilidades são analisadas para os processos de movimentos gravitacionais de massa e inundações individualmente. Reflete-se a compartimentação dos terrenos em zonas, segundo comportamentos homogêneos desses processos ante os fatores condicionantes. As cartas apresentam a incidência espacial do fenômeno, além de identificam e classificam as áreas com maior propensão de serem afetadas (alta, média, baixa) em um tempo indeterminado, sendo que a classificação de intensidade é efetuada através de fatores de predisposição à ocorrência dos processos (JULIÃO *et al.* 2009). Na carta síntese, os dois mapas são superpostos, acrescentando-se os de bacias suscetíveis a corridas de massa e enxurradas e o de feições indicativas de processos correlatos atuantes em nível local/pontual, as quais constituem também uma das bases para validação posterior dos resultados (BITAR, 2014).

5.4.1. Deslizamentos

Diversas são as abordagens para definição das áreas de maior suscetibilidade a movimentos de massa. As diversas metodologias utilizadas consideram principalmente os inventários e o cruzamento algébrico de mapas, na combinação de fatores relevantes à deflagração dos movimentos de massa (ROSA, 2018). De acordo com Soeters & van Western (1996) e Aleotti & Chowdhury (1999) os métodos podem ser divididos entre qualitativos (Análise

geomorfológica e método heurístico) e quantitativos (Método estatístico e determinístico).

Para o desenvolvimento da carta de susceptibilidade a movimentos de massa especificamente a deslizamentos foi usado o método estatístico do Valor Informativo recomendado em Bitar (2014). Entre as vantagens do uso das abordagens estatísticas está que sua fundamentação se encontra nas relações observadas entre os fatores de predisposição e a distribuição dos deslizamentos na área de estudo promovendo uma menor subjetividade na identificação dos pesos que devem ser atribuídos a cada um dos fatores e uma maior repetitividade no mapeamento de áreas susceptíveis (FERNANDES et al., 2001; GUZZETTI et al., 1999), um resumo ilustrativo para a confecção do mapa de susceptibilidade à deslizamentos está na **Figura 19**.

Figura 19 - Resumo ilustrativo da abordagem empregada para realizar o mapa de susceptibilidade a movimento gravitacionais de massa

O método do Valor Informativo, também conhecido como Índice Estatístico (*Statistical Index Method*) ou Índice de Escorregamentos, (*Landslide Index Method*), combina de forma bivariada a distribuição espacial dos deslizamentos (variável dependente) com cada uma das classes de cada fator de predisposição (variáveis independentes), ponderando sua importância com base na respectiva densidade de instabilidades (Soeters & van Westen 1996).

De forma prática, o método analisa a relação entre a densidade de deslizamentos em cada classe, de cada fator predisponente, e a densidade de deslizamentos na totalidade da área de estudo (Barella, 2016). Essas relações foram expressadas de acordo à **equações 01 e 02**:

$$\boldsymbol{VI_{ij} = ln\left[\frac{\frac{S_{ij}}{N_{ij}}}{\frac{S}{N}}\right]}$$

Equação 02

Onde: *VIij* – Valor Informativo de cada classe de cada parâmetro; *Sij* – Número de unidades de terreno que apresentam escorregamentos do parâmetro *i*; *Nij* – Número de unidade de terreno com a presença do parâmetro *i*; *S* – Número total de unidade do terreno com que apresentam escorregamentos; *N* – Número total de unidade de terreno na área de estudo. Exemplo: *i* = ângulo das encostas; orientação das vertentes; litologia; *j* = faixas de ângulos 20° a 30°, 30° a 40°; sul, sudeste; arenito, gnaisse.

$$\boldsymbol{VI_{ij} = ln\left[\frac{\frac{S_{ij}}{N_{ij}}}{\frac{S}{N}}\right] = \left[\frac{\frac{Área\ (S \cap N_{ij})}{Área\ (N_{ij})}}{\frac{Área\ (S)}{Área\ (N)}}\right] = ln\left[\frac{P(S \mid N_{ij})}{P(S)}\right] = ln\left[\frac{Densclas}{Densmap}\right] = ln\left[\frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}}\right]}$$

Equação 02

Onde: *P(S|Nij)* – Probabilidade condicionada de ocorrência de um escorregamento em uma determinada classe de um dado parâmetro; P(S) - Probabilidade de ocorrência do movimento em toda a área de estudo; *Densclas* – Densidade de escorregamento em cada classe de parâmetro; *Densmap* – Densidade de escorregamento em todo o mapa; *Npix(Si)* – Número de pixels, contendo escorregamentos, em uma determinada classe de parâmetro; *Npix(Ni)* – Número total de pixels de uma determinada classe de parâmetro.

O Valor Informativo final para cada unidade de terreno é fornecido pela soma dos valores determinados para todos os fatores empregados na elaboração do modelo, segundo a **equação *03***.

$$\boldsymbol{VI = \sum_{i,j=1}^{n} VI_{ij}}$$

Seguindo o recomendado por Barella (2016) a unidade de terreno adotada para a elaboração dos mapas dos fatores predisponentes foi o *pixel* com 5 metros de resolução. Desta forma, a menor unidade cartográfica de análise, capaz de individualizar as informações, corresponde, no terreno, a uma célula quadrática de 25 m² de área. Esse valor foi definido a partir da precisão gráfica, tomando-se como base o erro gráfico admissível de 0,2 mm (SILVA, 1998; e HENGL, 2006) a escala 1:25.000 da base topográfica.

Os procedimentos adotados para a execução do modelo de susceptibilidade a deslizamentos descritos por Alleoty e Chowdhury (1999) e empregados no presente estudo:

(i) seleção dos parâmetros condicionantes;

(ii) subdivisão dos parâmetros em um número relevante de classes;

(iii) elaboração do inventário de cicatrizes;

(iv) sobreposição do inventário aos mapas de parâmetro;

(v) cálculo da densidade de deslizamentos em cada classe de cada parâmetro, a fim de se determinar os pesos de ponderação;

(vi) cruzamento dos mapas de parâmetros com posterior cálculo das classes de suscetibilidade

(vii) analises da qualidade do modelo.

Em relação ao inventario de cicatrizes como enunciado no ponto 5.3 do presente informe, realizou-se a partir das imagens multitemporais de satélite dentro do *Google Earth* e do satélite CBERS, facilitando a identificação dos escorregamentos recentes como também dos acontecidos nos últimos 20 anos, evitando a não inclusão de cicatrizes degradadas por processos naturais ou antrópicos, ilustrados na **Figura 20**.

Figura 20 - Exemplo de evolução temporal de deslizamentos e boçorocas cartografas no município de Jacareí

Ao invés de usar uma área piloto para o mapeamento das cicatrizes como recomendado na Nota técnica explicativa de Bitar (2014), cartografou-se os deslizamentos em toda a área de estudo o que possibilitou a sub-divisão aleatória em dois grupos, o primeiro usado para a construção do modelo (grupo de treino) e a segunda metade, utilizada para sua validação (grupo de test).

Os fatores de predisposição que afetam a estabilidade de uma encosta são numerosos e diversos, e podem interagir de forma complexa e muitas vezes sutil (VARNES et al. 1984). Entre os diversos condicionantes do meio físico, neste estudo foram utilizados três fatores seguindo o enunciado por Bitar (2014): declividade, curvatura de encostas e densidade de lineamentos. A preparação

destes mapas acatando as recomendações de Rosa (2018), Montandon (2017), Barella (2016) e Bitar (2014).

A partir do cálculo dos valores informativos para cada uma das classes dentro dos fatores escolhidos, foram somados para a obtenção final do valor informativo em cada unidade do terreno, posteriormente estes valores foram reclassificados em susceptibilidade baixa, média e alta, além da aplicação de filtro de geoprocessamento (estatística focal e eliminação de polígonos menores).

Para a validação do modelo de susceptibilidade foi usado o método gráfico das curvas de sucesso e predição, que apresentam a classificação da suscetibilidade da área de estudo em ordem decrescente no eixo das abscissas e a distribuição acumulada da área escorregada/predita no eixo das ordenadas.

A diferença entre as curvas de sucesso e predição consiste no subconjunto do inventário que é utilizado. Quando o gráfico utiliza informações obtidas pelo conjunto do inventário empregado na elaboração do modelo, a curva será qualificada como curva de sucesso, a qual pode avaliar a qualidade do modelo quanto a sua adequação e robustez. O conjunto do inventário que foi particionado e não foi utilizado na produção do modelo, fornece os mesmos dados produzindo um diagrama similar, a curva de predição. Entretanto, essa curva irá atestar quanto à capacidade do modelo de prever movimentos futuros (CHUNG & FABBRI, 1999).

Chung & Fabbri (1999) também indicam que quanto mais íngreme for a curva, melhores são a qualidade (curva de sucesso) ou a capacidade preditiva (curva de predição) do modelo, consequentemente, quanto maior for a porcentagem de escorregamentos elucidada pela menor porcentagem da área de estudo, mais eficiente será o modelo. Para Barella (2016), pode-se assumir que curvas semelhantes atestam a existência de uma correlação predominante entre as características e as cicatrizes, além de indicar que a partição de dados foi adequada.

Garcia *et al.* (2007) referem que o melhor mapa de susceptibilidade não é o que apresenta mais área nos níveis de susceptibilidade mais elevados, mas

sim aquele que apresenta uma melhor relação entre o maior número de movimentos preditos e a menor percentagem de área classificada como mais susceptível, o que de certa forma contribui para o aumento da respectiva capacidade preditiva do modelo.

A área abaixo da curva (ACC), usada para análises de sensibilidade dos fatores de predisposição, utilizou-se para verificar a capacidade global do modelo, este método quantitativo calcula a área situada entre as curvas de sucesso ou predição e o eixo das abscissas, assumindo que estas são compostas por pequenos segmentos de reta. Os valores atingidos por este cálculo variam entre 0 e 1 (Begueria 2006), que equivalem respectivamente a uma capacidade preditiva péssima e ótima de acordo com a **equação 04**.

$$AAC = \sum_{i=1}^{n} \left[(L_i - L_{i+1}) \times \frac{(A_i + B_{i+1}}{2} \right]$$

Equação 04

Onde: ($L_i - L_{i+1}$) designa a amplitude da classe disposta no eixo das abscissas (altura do trapézio) e A_i e B_{i+1} são os valores da ordenada (base do trapézio).

Guzzetti (2005) descreve que valores de AAC entre 0,75 - 0,8 correspondem a um modelo aceitável, enquanto valores de AAC entre 0,8 e 0,9 indicam um modelo de susceptibilidade muito bom. Por último, valores de AAC> 0,9 tipificam modelos excelentes.

Na **Figura 21** é apresentada a curva de sucesso e predição para o modelo de susceptibilidade a deslizamentos no município de Jacareí, onde pode ser observado que cerca de 25% da área de estudo classificada como de alta susceptibilidade conseguiu explicar e predizer 68% da totalidade dos deslizamentos cartografados.

Em quanto ao AAC para o modelo desenvolvido foi de 0,77 para o grupo de treino e 0,75 para o grupo do teste, considerado ambos casos como aceitáveis.

O uso do mapa de densidade de lineamentos como fator de predisposição foi descartado devido que gerava um mapa com um menor valor de AAC, além de gerar uma tendência visualmente incorreta.

Figura 21 Curva de sucesso e predição do modelo de susceptibilidade a deslizamentos

5.4.2. Inundações

A abordagem adotada para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações apoia-se nos fatores permanentes, ou seja, nas condições predisponentes dos terrenos, principalmente nas características geológicas, topográficas e morfológicas das bacias que tendem a favorecer o transbordamento do nível d'água, por ocasião de chuvas intensas. A rigor, a consideração dos períodos de retorno das chuvas, associados aos graus de alta, média e baixa ocorrência, seria compatível com a elaboração de mapas de perigo e não de suscetibilidade e, desse modo, não são tratados no presente mapeamento. Busca-se possibilitar a compreensão da dinâmica hidrológico-geomorfológica de forma padronizada e prática, classificando a suscetibilidade a inundações em bacias de drenagem que podem abranger vários municípios.

Assim, os procedimentos de análise e classificação ocorreram através de três etapas básicas, ilustradas na **Figura 22**. Na Etapa 1, identificou-se a suscetibilidade das bacias a partir de índices morfométricos. Na Etapa 2, realizou-se a espacialização dos graus de suscetibilidade a partir da aplicação do modelo denominado HAND (*Height Above Nearest Drainage*), conforme Rennó *et. al.* (2008), Nobre *et. al.* (2011), Cuartas *et. al.* (2012) e Nobre *et. al.* (2015).

Por fim, na Etapa 3, as classificações obtidas nas duas etapas anteriores foram cruzadas, aplicando-se o recorte do zoneamento nas áreas de planícies e terraços fluviais.

Figura 22 - Fluxograma das três etapas básicas executadas para fins de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações.

(Adaptado de BITAR, 2014)

5.4.2.1. ETAPA 1 – Morfometria da bacia hidrográfica

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser definida como a "análise quantitativa das interações entre a fisiografia e a sua dinâmica hidrológica" que propicia um conhecimento da dinâmica fluvial, bem como das relações existentes entre essa dinâmica e os diversos componentes do meio físico e biótico de uma bacia (FARIA, ZACCHI e FERREIRA, 2009).

As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas

das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARA *et al.*, 2004).

As classes de informações morfológicas determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957), Christofoletti (1978), entre outros. Lindner, Gomig e Kobiyama (2007) observam que os índices morfométricos são importantes pressupostos para estudos acerca de eventos de natureza hidrometeorológica, como enchentes e estiagens.

Diversos autores (OLIVEIRA, 2010; SOUZA, 2004; OLIVEIRA, GUASSELLI e SALDANHA, 2010; BAJABAA, MASOUD e AL-AMRI, 2013) realizaram estudos nos quais utilizam distintos parâmetros e/ou índices morfométricos para analisar a suscetibilidade a inundações em uma dada bacia ou sub-bacia hidrográfica. O procedimento é executado de forma relativa, hierarquizando, em vista das bacias analisadas, aquelas que possuem maior ou menor grau de suscetibilidade. A **Tabela 13** apresenta os parâmetros e índices selecionados e extraídos para cada uma das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica em que o território municipal em análise se insere.

O parâmetro área de contribuição refere-se à área acumulada na bacia de drenagem até o ponto exutório selecionado. Esse valor de área é elevado a 0,9, de modo a representar o fator de redução de chuva no ponto. Ou seja, incorpora-se um fator de redução de área de contribuição, assim como na simplificação utilizada para o Método Racional, que é empregado em bacias mais complexas e/ou de grandes áreas.

A relação de relevo, conforme concebida por Schumm (1956), utiliza a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal da sub-bacia hidrográfica. A amplitude altimétrica é obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima. A densidade de drenagem é definida por Horton (1945) e relaciona o comprimento da drenagem com a área da bacia. O índice de circularidade, proposto por Müller (1953), relaciona a área da sub-bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro. O índice de sinuosidade, proposto por

Schumm (1963), relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre extremos do canal.

Tabela 13 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados

Parâmetro/Índice	Cálculo	Influência
Área de contribuição **(Ac)**	Extração automática em SIG	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior Ac, maior tende a ser a suscetibilidade
Relação de relevo **(Rr)** (SCHUMM, 1956)	Relação entre amplitude (Δa) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L); Rr = Δa/L	Indica velocidade de escoamento. Quanto maior Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia
Densidade de drenagem **(Dd)** (HORTON, 1945)	Relação entre comprimento da drenagem (C) c/ área da sub-bacia (A); Dd = C/A	Quanto maior Dd, menor é infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio
Índice de circularidade **(Ic)** (MÜLLER, 1953)	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a de um círculo de mesmo perímetro (Ac); Ic = A/Ac	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio
Índice de sinuosidade **(Is)** (SCHUMM, 1963)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância vetorial entre os extremos do canal (dv); Is = L/dv	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade do escoamento e chegada da água no rio

Fonte: adaptado de Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010).

As variáveis ou parâmetros morfométricos representam, em conjunto, a influência geral em relação a inundações. Os valores correspondentes são normalizados para fins de comparação de grandeza e elaboração de um índice geral que propicie avaliar a influência de cada sub-bacia na ocorrência de inundações. Bajabaa, Masoud e Al-Amri (2013) propuseram diferentes relações estatísticas para estabelecer a ordem de grandeza de cada parâmetro ou índice em uma escala variável entre 1 (menor suscetibilidade) e 5 (maior suscetibilidade).

Para os parâmetros e índices que apresentam relação diretamente proporcional ao fenômeno da inundação (Área de contribuição, Densidade de drenagem, Índice de Circularidade e Índice de Sinuosidade), a ponderação é dada pela **equação 05**.

$$GS = \frac{4(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} + 1 \qquad \textbf{(05)}$$

Em que:

GS = grau de suscetibilidade;

X = valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada bacia;

X_{min} e X_{max} = valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices morfométricos de todas as sub-bacias, respectivamente.

Aos que denotam relação inversa à ocorrência do fenômeno (no caso, a Relação de relevo), aplica-se a **equação 06**:

$$GS = \frac{4(X - X_{max})}{(X_{min} - X_{max})} + 1 \qquad \textbf{(06)}$$

Em que:

GS = grau de suscetibilidade;

X = valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada bacia;

X_{min} e X_{max} = valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices morfométricos de todas as sub-bacias, respectivamente.

Por fim, os parâmetros e índices padronizados são somados (Ac + Rr + Dd + Ic + Is) e novamente padronizados, agora em uma escala de 1 a 3, onde 1 = baixa suscetibilidade; 2 = média suscetibilidade e 3 = alta suscetibilidade a inundações, conforme **equação 07**:

$$GSf = \frac{2(Y - Y_{min})}{(Y_{max} - Y_{min})} + 1 \qquad \textbf{(07)}$$

Onde:

GSf é o grau de suscetibilidade final;

Y é o valor do parâmetro/índice em cada sub-bacia; e

Y_{min} e Y_{max} são os valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices de todas as sub-bacias, respectivamente.

5.4.2.2. ETAPA 2 – Aplicação Modelo HAND

Para a espacialização da inundação nas planícies e terraços, utilizou-se o modelo HAND que mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDT e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo (*flowpath*) que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem. O resultado é uma grade que representa a normalização do MDE em relação à drenagem e

indica a área onde uma cheia pode se desenvolver, em caso de haver água em excesso fluindo na superfície (PIRES e BORMA, 2013).

HAND é um algoritmo descritor do terreno que tem sido testado em classificação de solos, revelando forte correlação entre fatores relativos às condições de água no solo, nível do lençol freático e topografia. Utiliza um modelo numérico de terreno para mapear a superfície, baseando-se na distância vertical à drenagem mais próxima. Assim, indica áreas suscetíveis a inundações pela análise dos desníveis topográficos e da proximidade relativa dos rios. Esses desníveis relativos constituem boas indicações das suscetibilidades a inundações de cada ponto na paisagem. A distância vertical à drenagem mais próxima está relacionada indiretamente com a profundidade do lençol freático que, por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos a zero) indicam regiões cujo lençol está próximo à superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação. Valores altos de distância vertical identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas (BITAR, 2014).

A **Figura 23** ilustra a sequência utilizada na geração do modelo HAND. Para a extração da drenagem é necessário definir um limiar de fluxo acumulado que gera uma drenagem superficial efetivamente. Quanto maior o limiar, menor a geração de drenagens de primeira ordem ou de drenagens intermitentes, apresentando-se as drenagens principais.

Figura 23 - Fluxograma para geração da suscetibilidade a inundação segundo o modelo HAND.

(Adaptado de Rennó *et. al.* (2008) e Nobre *et. al.* (2011))

5.4.2.3. ETAPA 3 - Integração morfometria e HAND

Esta atividade consistiu na integração dos resultados obtidos nas atividades descritas nos **tópicos 5.4.2.1 e 5.4.2.2** desse relatório, finalizando-se o zoneamento da suscetibilidade a inundações no âmbito da área mapeada. Compreende o cruzamento entre o GSf calculado por sub-bacia hidrográfica (**Item 5.4.2.1**) e os resultados do HAND (**Item 5.4.2.2**). A operação foi realizada por meio da lógica booleana, comumente utilizada para a identificação de relações entre distintos tipos de dados geográficos (identificadas por meio de sobreposição de temas ou de mapas temáticos), de acordo com a matriz de correlação indicada na **Tabela 14**, efetuando-se, nos cruzamentos, adaptação em favor de um maior equilíbrio entre as classes resultantes

Tabela 14 - Matriz de correlação entre as duas classificações de suscetibilidade obtidas, segundo os índices morfométricos e o modelo HAND.

Modelo HAND / Índices Morfométricos	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Os resultados obtidos foram representados dentro dos limites das áreas de planícies e terraços cartografados na geração dos Padrões de Relevo, para delimitação das áreas sujeitas a inundações

Pressupõe-se que a suscetibilidade a inundações em áreas externas às de planícies e terraços tende a ser desprezível. Dada a escala de referência, podem ocorrer, ainda, dentro do contexto de planícies e terraços, outros tipos de relevo, como colinas e morros baixos, em áreas restritas e de menor expressão territorial, cuja suscetibilidade local ao processo tende também a ser desprezível.

5.4.3. Corridas de massa e enxurradas

Considerando a escala de referência (1:25.000) e a necessidade de indicar bacias hidrográficas e/ou drenagens relativamente mais suscetíveis aos processos de corridas de massa e enxurradas, busca-se inicialmente estabelecer critérios e parâmetros físicos específicos para esse fim, por meio de cruzamento

de atributos do meio físico, de modo a compor um modelo apropriado de abordagem.

Adotaram-se os seguintes pressupostos básicos para seleção e definição de critérios e parâmetros de análise em terrenos naturais suscetíveis aos processos de corridas de massa e de enxurradas:

- Bacias hidrográficas onde ocorrem corridas de massa apresentam atributos físicos que possibilitam também a geração de enxurradas;
- Nem todas as bacias hidrográficas e respectivos cursos d´água onde podem ocorrer enxurradas têm atributos que possam gerar também corridas de massa;
- Corridas de massa ocorrem necessariamente em bacias que compreendem terrenos de alta suscetibilidade a deslizamentos.

Para a modelagem, considerando os pressupostos citados e tendo como base a literatura técnica especializada, os critérios e parâmetros utilizados na análise de bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa, os quais configuram um primeiro conjunto de fatores predisponentes a esse tipo de processo, compreendem:

- Unidades de relevo serrano;
- Terrenos com alta suscetibilidade a deslizamentos;
- Amplitude > 500 metros;
- Bacias de drenagem com Área < 10 km²; e
- Relação entre amplitude e área da bacia dada pelo Índice de Melton (M), onde M = Amplitude / raiz quadrada da Área, que deve ser > 0,3.

O valor de 0,3 para o Índice de Melton é baseado no trabalho de Wilford (2004), no qual são discutidos limiares para diferentes tipos de fluxos, incluindo as corridas de massa.

Para enxurradas, os critérios e parâmetros considerados são:

- Unidades de relevo serrano e/ou de morros altos;
- Amplitude > 300 metros; e
- Bacias de drenagem com Área < 10 km².

Aplicando-se esses critérios a cada região analisada, por meio de geoprocessamento, considerando-se os dados e modelos disponíveis, o local de estudo não apresentou características que condicionem a existência de corridas de massa e enxurradas de acordo com o apresentado em Bitar (2014).

5.5. Elaboração dos quadros-legenda

Os quadros-legenda são elaborados para cada grupo de processos abordados, tendo em conta as peculiaridades envolvidas. De acordo com cada classe de suscetibilidade mapeada, incluíram-se:

- Registro fotográfico de um local correspondente, procurando-se ilustrar, na paisagem,
- Os fatores predisponentes envolvidos,
- As características predominantes do meio físico e
- Os indicadores da incidência espacial, em relação ao território municipal e às áreas urbanizadas, expressos em área (km^2 e %)

No quadro de movimentos gravitacionais de massa, os parâmetros descritos em cada classe compreendem: relevo; forma das encostas; amplitudes; declividades; litologia; densidade de lineamentos; solos; e processos (deslizamento, rastejo, queda de rocha, corrida de massa). A predominância desses parâmetros é obtida pela incidência em área, conforme ocorrência nos mapas temáticos.

No quadro referente a inundações, as características predominantes apontadas são subdivididas de acordo com a abrangência territorial, em dois níveis: locais e regionais. Sobre as características locais, os parâmetros descritos são: relevo; solos; altura de inundação (expressa em metros); e processos (inundação, alagamento e assoreamento). Quanto às características regionais, expressas no âmbito das bacias de drenagem contribuintes, destacam-se: área de contribuição (pequena, intermediária, grande); formato da bacia (tendendo a circular, circular a alongado, tendendo a alongado); densidade de drenagem na bacia (baixa, média, alta); padrão dos canais fluviais ou sinuosidade (tendendo a sinuoso, sinuoso, retilíneo, tendendo a retilíneo); e relação de

relevo (amplitude baixa e canal principal longo, amplitude média e canal principal intermediário, amplitude alta e canal principal curto).

No que se refere ao relevo, vale salientar que a indicação de formas predominantes em cada classe de suscetibilidade na carta síntese não implica correspondência direta com a delimitação de áreas de ocorrência de planícies e terraços. Para tal, seriam necessários estudos de campo em escala de detalhe (1:5.000, ou maior). O mesmo se verifica em relação ao solo, embora, nesse caso, a correlação possa ser mais evidente, com a classe de suscetibilidade média denotando a transição entre solos hidromórficos (predominantes na classe alta) e não hidromórficos (predominantes na classe baixa). No que se refere à altura de inundação, é importante ressaltar que os valores também não devem ser confundidos com cotas limites para a ocorrência das formas de relevo e tipos de solos mencionados.

5.6. Composição do pré-mapa de suscetibilidade

De acordo com Bitar (2014) os resultados da classificação e zoneamento relativos a movimentos gravitacionais de massa e inundações, bem como incluindo os demais elementos compilados e as feições extraídas por meio de fotointerpretação, elaborou-se a carta síntese preliminar, denominada pré-mapa.

Os zoneamentos de suscetibilidades a movimentos gravitacionais de massa e inundações são acompanhados dos quadros-legenda e encontram-se plotados sobre relevo sombreado, com iluminação e azimute de 45º.

As feições são associadas a processos e registradas como indicativas de suscetibilidades locais e pontuais.

Fazem parte da carta síntese os seguintes mapas temáticos: hipsometria; relevo sombreado; declividade; padrões de relevo; geologia e pedologia. Figuras de isoietas, hietogramas e equações de chuvas são incluídas no *layout* da carta síntese, posicionadas ao lado dos zoneamentos de suscetibilidades.

Os demais mapas e dados produzidos ou obtidos encontram-se na Base de Dados digitais.

5.7. Verificação e validação de campo

A validação dos resultados de zoneamentos de suscetibilidades construídos em escritório, como os do pré-mapa relativos a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, deve ser efetuada por meio de verificação em campo, preferencialmente com base no cruzamento com inventários de eventos ocorridos especialmente em áreas rurais.

Considerando a dificuldade de obtenção desses inventários, bem como a inviabilidade de sua execução no âmbito dos trabalhos de mapeamento reportados, utilizaram-se, alternativamente, as diversas feições fotointerpretadas, considerando o inventário de deslizamento e outras feições levantadas em etapas anteriores, além da observação dos fatores predisponentes selecionados e formas de relevo.

No tocante as inundações, segundo Julião *et al.* (2009), devem ser aplicados, preferencialmente, nas áreas urbanas, modelos hidráulicos e hidrológicos adequados, validados pelos registros históricos e marcas de inundações existentes, enquanto em áreas rurais cabe o uso de modelos hidrológicos, validados por levantamentos de campo relativos às marcas de inundações e à definição morfológica dos leitos de inundação, a partir da combinação de critérios geomorfológicos e pedológicos.

Considerando a não disponibilidade dos modelos citados, ante as finalidades do mapeamento, adotou-se a observação de marcas de inundações e da morfologia dos leitos de inundação a partir de critérios geomorfológicos e pedológicos, bem como outras referências locais obtidas a partir de estudos anteriores realizados por autores diversos, além de relatos de moradores locais.

Salienta-se que os dados de isoietas, hietogramas e equações de chuvas, desenvolvidos pela CPRM e incluídos na carta síntese e na Base de Dados, destinam-se a subsidiar estudos específicos posteriores e de detalhe, em nível de projeto de engenharia.

5.7.1. Preparação das atividades de campo

As atividades de campo foram precedidas pela elaboração de um roteiro orientativo. Tal roteiro era composto pelas fases principais dos trabalhos de campo, de modo a facilitar a execução das atividades e retroalimentar as atividades de escritório, bem como definir um procedimento uniforme a ser aplicado ao processo de elaboração da carta. Ainda em escritório, apontou-se também pontos específicos de interesse a visitar no campo.

O roteiro de campo foi elaborado a partir do inventário de cicatrizes e feições mais recentes que pudessem ser constatadas em campo para verificação do pre-mapa de suscetibilidade a deslizamentos, além de pontos próximos a corpos de água para verificação da suscetibilidade à inundações procurando abranger a área total do município. Incluiu-se também no roteiro os pontos visitados pela equipe do IPT para a composição do mapa de susceptibilidade 1:50.000 realizado em 2016.

Os pontos a serem visitados foram carregados num projeto no *software* Qfield, de modo a orientar a navegação em campo

A composição da equipe de campo contou com a participação de profissionais ligados predominantemente às geociências (geólogos) e engenharias (geotécnica e ambiental).

O prazo planejado para a verificação de campo tende a ser variável, situando-se geralmente entre dois e quatro dias, seguidos ou alternados, a depender da extensão territorial, qualidade das vias de circulação, condições meteorológicas vigentes, acessibilidade a pontos específicos de interesse, complexidade geotécnica do município, entre outros fatores.

5.7.2. Execução das atividades de campo

As atividades de campo tiveram como foco, para fins de observação e registro sistemático, os seguintes tópicos:

- Verificação das classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a inundações incidentes, visando validar o zoneamento contido no pré-mapa;

- Verificação das bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas, visando validar a indicação contida no pré-mapa;
- Verificação das feições fotointerpretadas e sua associação com processos correlatos; Verificação de dados e informações complementares, particularmente acerca dos mapas temáticos contidos no pré-mapa.

O percurso e o registro de cada ponto visitado em campo resultaram em anotações em caderneta e na aquisição de fotografias digitais. Foram visitados em total 52 pontos em campo no mês de agosto de 2023, registrando as coordenadas geográficas por meio de aparelho GPS de mão e adquirindo fotografias representativas para compor a pasta denominada "Fotos de campo" dentro da base de dados.

Em cada uma das paradas observou-se as características físicas presentes e anotou-se na caderneta de campo para posteriormente inserir estas informações na tabela de atributos e realizar a adequação final do pre-mapa de suscetibilidade.

5.8. Revisão do pré-mapa e consolidação da carta síntese

Com os resultados de classificação e zoneamento relativos aos processos analisados, incluindo-se a análise dos demais elementos compilados e as feições extraídas por meio de fotointerpretação, verificados e validados nos trabalhos de campo e por trabalhos locais de outros autores, consolidou-se a carta síntese final e a Base de Dados correspondente.

A montagem da carta síntese buscou empregar linguagem acessível a um público o mais amplo possível. Privilegiou-se a inserção de dados e informações que possam ser extraídos em meio a atividades de planejamento e gestão territorial e de prevenção de desastres naturais.

6. Proposta de ações relacionadas a ocupação

Para movimentos gravitacionais de massa, com destaque aos deslizamentos as principais situações encontradas são:

- 1 - Área urbanizada em zona de alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa
- 2 - Área urbanizada em zona de média suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa
- 3 - Área urbanizada em zona de baixa suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa
- 4 - Área não urbanizada em zona de alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa
- 5 - Área não urbanizada em zona de média suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa
- 6 - Área não urbanizada em zona de baixa suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa

Algumas das possíveis diretrizes gerais relacionadas ao uso e ocupação do solo são sintetizadas a seguir:

- 1 - Realizar identificação de perigos e estimativa de risco em setores delimitados, compreendendo as zonas de alta suscetibilidade e também os terrenos a jusante sujeitos a atingimento, produzindo-se cartas de risco e planos de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 2 - Realizar identificação de perigos e, onde necessário, estimar os riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 3 - Avaliar a influência da ocupação no grau de suscetibilidade dos terrenos e, onde necessário, identificar perigos, estimar riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;

- 4 - Não ocupar ou, caso necessário, para usos específicos e não urbanos, ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação geotécnica, restringindo-se as modificações que possam afetar a geometria e a estabilidade dos terrenos;
- 5 - Ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação geotécnica, restringindo-se as modificações que possam afetar a geometria e a estabilidade dos terrenos; e
- 6 - Ocupar mediante execução de medidas geotécnicas convencionais, restringindo-se as modificações que possam afetar a geometria e a estabilidade dos terrenos.
- Elaborar legislação que regulamente e estabeleça critérios objetivos para áreas *non aedificandi* e quais estudos específicos a serem executados por empreendedores para a aprovação de novos parcelamentos do solo e para regularização fundiária de parcelamentos existentes.

Em relação as inundações e alagamentos, as principais situações encontradas são:

- 1 - Área urbanizada em zona de alta suscetibilidade a inundações, alagamento e assoreamento
- 2 - Área urbanizada em zona de média suscetibilidade a inundações, alagamento e assoreamento
- 3 - Área urbanizada em zona de baixa suscetibilidade a inundações, alagamento e assoreamento
- 4 - Área não urbanizada em zona de alta suscetibilidade a inundações, alagamento e assoreamento
- 5 - Área não urbanizada em zona de média suscetibilidade a inundações, alagamento e assoreamento
- 6 - Área não urbanizada em zona de baixa suscetibilidade a inundações, alagamento e assoreamento

Algumas das possíveis diretrizes gerais relacionadas ao uso e ocupação do solo são sintetizadas a seguir:

- 1 - Realizar identificação de perigos e estimativa de riscos em setores delimitados, produzindo-se cartas de risco e planos de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 2 - Realizar identificação de perigos e, onde necessário, estimar os riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 3 - Avaliar a influência da ocupação no grau de suscetibilidade dos terrenos e, onde necessário, identificar perigos, estimar os riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 4 - Não ocupar ou, caso necessário, para usos específicos e não urbanos, ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação hidrológico-hidráulica, restringindo-se as modificações que possam afetar a dinâmica de escoamento local;
- 5 - Ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação hidrológico-hidráulica, restringindo-se as modificações que possam afetar a dinâmica de escoamento local; e
- 6 - Ocupar mediante execução de medidas hidrológico-hidráulicas convencionais, restringindo-se as modificações que possam afetar a dinâmica de escoamento local.
- Elaborar legislação que regulamente e estabeleça critérios objetivos para áreas *non aedificandi* e quais estudos específicos a serem executados por empreendedores para a aprovação de novos parcelamentos do solo e para regularização fundiária de parcelamentos existentes.

Ressalta-se que estas diretrizes propostas não afetam outras que possam ser elaboradas no âmbito do município e da legislação vigente. É importante salientar também que, é imprescindível consolidar tais diretrizes em instrumentos normativos legais e infralegais de modo a conferir segurança jurídica para as ações de regulação de uso e ocupação do solo por parte da administração municipal.

7. Indicação de áreas que precisam de detalhamento

A indicação das áreas que precisam de detalhamento (avaliação geotécnica), de modo a identificar restrições a loteamentos, necessidades de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem, e riscos potenciais a desastres naturais é de extrema importância para a atividade de planejamento urbano e para as atribuições de fiscalização do uso e ocupação do solo por parte da administração municipal.

Foram elencadas como áreas que necessitam de detalhamento todas as áreas urbanas cadastradas como de risco pela municipalidade.

Nas áreas não urbanizadas foram sugeridas todas as áreas localizadas em zonas de alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações que contam com adensamento populacional.

Áreas localizadas em zonas de alta e média suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações que forem objetos de projetos de urbanização devem ter estudos específicos exigidos pela administração municipal no seu processo de aprovação e os mesmos devem ser realizados pelos empreendedores interessados.

8. Considerações finais

Baseando-se em observações de diversos autores acerca da utilização adequada das cartas de suscetibilidade, como as apresentadas por Giraud e Shaw (2007) no caso de deslizamentos, entre outros trabalhos, seguem algumas considerações adicionais, as quais devem necessariamente ser levadas em conta quando do emprego da carta para os fins a que se destina.

A carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a inundações gerada mostra uma classificação relativa apoiada em um modelo de abordagem fundamentado inicialmente em fatores predisponentes relacionados aos terrenos, espacializáveis e obtidos por meio de compilação e tratamento de dados secundários. É possível que outros fatores não incluídos na atual fase de desenvolvimento do modelo venham a ser determinantes em certas situações. Os aspectos climáticos estão entre esses fatores, uma vez que, em alguns casos, a variabilidade no âmbito do território municipal pode ser significativa.

Contudo, esses e outros fatores são passíveis de integração posterior ao modelo, considerando-se que os respectivos dados, uma vez disponíveis, apresentem significância na escala de referência e sejam fornecidos em formatos espacializáveis.

A classificação relativa obtida (alta, média, baixa) aponta áreas onde a propensão é maior ou menor em comparação a outras. A suscetibilidade baixa não significa que os processos analisados não poderão se desenvolver em seu domínio, pois atividades humanas podem alterar os processos e deflagrar ou acelerar sua dinâmica em qualquer área. Salienta-se também que dentro das zonas de maior ou menor suscetibilidade pode haver áreas com classe distinta, mas sua delimitação não se mostra compatível com a escala da carta.

As classes de suscetibilidade não indicam a trajetória e o alcance territorial dos materiais envolvidos nos fenômenos abordados e tampouco a sinergia entre os vários processos atuantes numa dada área.

Para os movimentos gravitacionais de massa, a "Área" estimada corresponde à área total do município, uma vez que é este o universo considerado para fins de zoneamento desses processos (incluem-se as áreas de

planícies e terraços onde, em razão da escala de trabalho, pode haver outros tipos de relevo e terrenos suscetíveis). Assim, as somas dos valores obtidos totalizam o montante territorial do município em km^2 e em % (neste último, 100).

No caso de inundações, o universo considerado abrange as áreas de planícies e terraços. Essa opção deve-se aos valores relativamente baixos geralmente obtidos para inundações em face da área total municipal, o que tenderia a dificultar a percepção quando da comparação com outros processos. Assim, a leitura a ser feita deve considerar que a soma não corresponde à área total do município, mas sim à área total de planícies e terraços sujeita a esses processos no âmbito do território municipal. O restante, ao qual uma vez somado chegar-se-ia a 100%, pode ser admitido como correspondente à área de suscetibilidade desprezível.

Em razão desses aspectos, a carta de suscetibilidade gerada não pode ser utilizada, por exemplo, para análise de estabilidade de terrenos ou elaboração de cenários em face da ocupação, bem como não se destina ao uso em qualquer outra escala que não seja a de referência. Esses e outros usos inapropriados podem resultar em conclusões incorretas acerca da incidência de maior ou menor suscetibilidade em dada área.

A carta foi elaborada para uso exclusivo em atividades de planejamento e gestão territorial e de prevenção de desastres naturais, apontando-se áreas suscetíveis em relação aos processos do meio físico analisados. Estudos mais detalhados e em nível local são necessários, particularmente em áreas de suscetibilidade alta e média, podendo produzir diferentes limites ante os apontados na carta.

Por fim, a incidência de alta suscetibilidade em áreas urbanizadas pressupõe condições com potencial de risco maior e requer estudos específicos.

9. Responsabilidade técnica

Os trabalhos foram conduzidos sob responsabilidade técnica do Engenheiro Cartógrafo Heber Jeferson Sultanum, CREA/SP Nº 5060742830 com Anotação de Responsabilidade Técnica (A.R.T) Nº. 28027230230480860.

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Heber Jeferson Sultanum

Engenheiro Cartógrafo

CREA/SP – 5060742830

ART Nº 28027230230480860

10. Referências bibliográficas

ALEOTTI, P. & CHOWDHURY, R. 1999. *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives.* **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 58(1): 21-44.

BAJABAA, S.; MASOUD, M.; AL-AMRI, N. Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). **Arabian Journal of Geosciences**, April, 2013.

BARELLA C. F. C. 2016. **Abordagens Estatísticas Aplicadas ao Mapeamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa: Análise de Diferentes Técnicas no Contexto do Quadrilátero Ferrífero.** Tese de Doutorado em Geotecnia, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto, 253p.

BEGUERIA S. 2006 – *Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management*. **Natural Hazards**. 37: 315 – 329.

BITAR, O.Y. (coord.) (2014). **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - 1:25.000: Nota Técnica Explicativa**. IPT, São Paulo, SP, 42 p.

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 36, p. 130-2, 1978.

CHUNG C. F. E FABBRI, A. G.: 1999, *Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping,* **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 65-12, 1389–1399

CUARTAS, L. A., NOBRE, A. D., HODNETT, M. et al. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. Journal of Hydrology: 404, 13–29. 2012.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S. Caracterização morfométrica e biológica da bacia hidrográfica do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraibuna,

Juiz de Fora, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2009.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 83-111, 2008.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

GARCIA, R. A. C.; ZÊZERE, J. L.; OLIVEIRA, S. C.; REIS, E. **A importância do processo de classificação de dados na cartografia de suscetibilidade a movimentos de vertente. Dinâmicas Geomorfológicas. Metodologias**. Aplicação. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Lisboa, Portugal, 5: 265-279. 2007.

GUZZETTI, F. et al. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy**. Geomorphology**, v. 31, p. 181-216, 1999.

GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., ARDIZZONE F., CARDINALI, M., AND GALLI, M. 2005. *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale*, **Geomorphology**, 72, 272–299.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin,** v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

LIMA, M. **Cartografia de suscetibilidade a deslizamentos utilizando o método estatístico "valor informativo": estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Macacos, Nova Lima/MG. 2018. 72 f.** Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBIYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do

Peixe/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405-3412.

MONTANDON, Larissa F. **Avaliação da influência da escala do mapa litológico nos modelos de suscetibilidade a escorregamentos, no município de Caeté (MG), utilizando métodos estatísticos. 2017.** 150 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee**. New York: Department of Geology, Columbia University, 1953. 51 p.

NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., HODNETT, M. et al. *Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model*. **Journal of Hydrology** 404, 13–29. 2011.

NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., MOMO, M.R., et al. 2015. *HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent*. **Hydrological Processes**. 2015

OLIVEIRA, G. G. de. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, G. G. de.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Influência de variáveis morfométricas e da distribuição das chuvas na previsão de enchentes em São Sebastião do Caí, RS. **Revista de Geografia**, Recife, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 140-155, set. 2010.

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciências do Solo**, Viçosa, n.28, p.297-305, 2004.

RENNÓ, C.D., NOBRE, A.D., CUARTAS, et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM. **Remote Sensing of Environment** 112, 3469–3481. 2008.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SILVERMAN, B. W. **Density estimation for statistics and data analysis**. Nova York: Chapman and Hall, 1986. 175 p

SOETERS R. & VAN WESTEN C.J. 1996. **Slope instability recognition, analysis, and zonation. Landslides: Investigation and Mitigation.** A.K. Turner & R.L. Shuster (eds.), Transportation Research Board, National Research Council, special Report 247, pp. 129-177. 1996.

SOUZA, C. R. de G. Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN; UFSC, 2004. p. 231-247. 1 CD-ROM.

STABILE, R. A. et al. Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**, 14., 2013, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD ROM.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **American Geophysics Union Transactions**, v. 38, p. 913-920, 1957.

VARNES, D.J. & IAEG COMISSION ON LANDSLIDES AND OTHER MASS-MOVEMENTS. 1984. **Landslide Hazard Zonation: A Review of Priciples and Practice.** United Nations Educational, UNESCO, Paris, France, 63p.

ANEXO I – CARTA DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES

HIPSOMETRIA

RELEVO SOMBREADO

DECLIVIDADE

RELEVO

GEOLOGIA

PEDOLOGIA

FEIÇÕES E PROCESSOS CORRELATOS

PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL E MENSAL

ISOETAS

*Médias mensais estimadas a partir das isoietas de médias mensais

Fonte: Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO et al., 2011)

Equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) adotadas para Jacareí a partir dos dados da Estação Pluviométrica Jacareí, Códigos 02345024 (ANA) e E2-021 (DAEE)

10 min < t < 24 h

$$i = \frac{2594,3 \times T^{0,2255}}{(t + 23,7)^{0,9644}}$$

Onde:

i é a intensidade da chuva (mm/h)

T é o tempo de retorno (anos)

t é a duração da precipitação (minutos)

As equações são válidas para tempo de retorno de até 100 anos.

Classe de suscetibilidade	Foto Ilustrativa	Características predominantes	Área		Área urbanizada/ edificada	
			Km²	%	Km²	%
Alta		• Relevo: morros baixos e morros altos; • Forma das encostas: retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceiras de drenagem abruptos; • Amplitudes: 60 a 180 m ; • Declividades: > 25º; • Litologia: Migmatitos estromatíticos com paleossoma xistoso, gnáissico ou anfibolítico, localmente oftalmílicos e migmatitos oftalmílicos; • Densidade de lineamentos/estruturas: alta; • Solos: pouco evoluídos e rasos; e • Processos: deslizamento.	118,70	25,5	2,14	4,10
Media		• Relevo: morros baixos; • Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem ; • Amplitudes: 40 a 120 m ; • Declividades: 10 a 30º; • Litologia: Migmatitos estromatíticos com paleossoma xistoso, gnáissico ou anfibolítico, localmente oftalmílicos e migmatitos oftalmílicos; • Densidade de lineamentos/estruturas: média; • Solos: evoluídos e moderadamente profundos; e • Processos: deslizamento.	149,57	32,13	16,29	31,25
Baixa		• Relevo: planícies e terraços fluviais, colinas, morros baixos e morrotes; • Forma das encostas: convexas suavizadas e retilíneas; • Amplitudes: < 60 m ; • Declividades: < 15º; • Litologia: Areias, argilas e conglomerados de depósitos aluviais, arenitos, argilitos, subordinadamente folhelhos e conglomerados, migmatitos estromatíticos, e oftalmílicos; • Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; • Solos: aluviais; evoluídos e profundos nas colinas, morros baixos e morrotes; e • Processos: deslizamento.	197,22	42,37	33,71	64,65

Classe de suscetibilidade	Foto Ilustrativa	Características predominantes		Área		Área urbanizada/ edificada	
		Locais	Bacias de drenagem contribuintes	Km²	%	Km²	%
Alta		• Relevo: planícies aluviais atuais, com amplitudes e declividades muito baixas (< 5º); • Solos: hidromórficos, em terrenos situados ao longo de curso d'água, mal drenados e com nível d'água subterrâneo aflorante a raso; • Altura da inundação: até 2 m acima da calha do leito regular do curso d'água; • Processos: inundação, alagamento e assoreamento.	• Área de contribuição: grande; • Formato: tendendo a circular; • Densidade de drenagem: alta; • Padrão dos canais fluviais: tendendo a sinuoso; e • Relação de relevo: amplitude baixa e canal principal longo.	42,10	9,04	6,21	11,90
Media		• Relevo: terraços fluviais baixos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (< 5º); • Solos: não hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilosarenosos e com nível d'água subterrâneo raso a pouco profundo; • Altura da inundação: entre 2 e 5 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e • Processos: inundação, alagamento e assoreamento.	• Área de contribuição: intermediária; • Formato: circular a alongado; • Densidade de drenagem: média; • Padrão dos canais fluviais: sinuoso a retilíneo; e • Relação de relevo: amplitude média e canal principal intermediário.	24,95	5,36	6,07	11,64
Baixa		• Relevo: terraços fluviais altos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (< 5º); • Solos: não hidromórficos, em terrenos siltosarenosos e com nível d'água subterrâneo pouco profundo; • Altura da inundação: acima de 5 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; • Processos: inundação, alagamento e assoreamento.	• Área de contribuição: pequena; • Formato: tendendo a alongado; • Densidade de drenagem: baixa; • Padrão dos canais fluviais: tendendo a retilíneo; e • Relação de relevo: amplitude alta e canal principal curto.	56,49	12,14	11,30	21,67

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- Área urbana consolidada
- Hidrografia
- Massa D'água

Nota 1: Documento cartográfico cuja elaboração considera, entre outras referências, as diretrizes contidas no manual para zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco a deslizamento, publicado em 2008 pelo Comitê Técnico de Deslizamentos e Taludes Construídos, das associações técnico-científicas internacionais de geotecnia, a ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), a ISRM e a IAEG, e pela ABGE e ABMS. A carta tem caráter informativo e é elaborada para uso exclusivo em atividades de planejamento e gestão do território, apontando-se áreas quanto ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem causar danos materiais e pessoais. Foi elaborada em escala 1:25.000, sendo recomendada a sua confirmação com a escala 1:10.000, podendo eventualmente ser aplicadas em escalas menores. A utilização da carta pressupõe a consulta prévia ao documento técnico que a acompanha. O zoneamento nela representado foi feito a partir da análise dos fatores condicionantes e deflagradores dos processos, obtidos por meio de compilação e tratamento de dados secundários disponíveis e validação em campo. As zonas apontadas na carta indicam áreas de predominância quanto ao processo analisado. Não indica a trajetória e o alcance dos processos, nem a ocorrência de um processo em um ponto específico dentro da área mapeada (pontual), nem, muito, baixa) quanto áreas onde a propensão ao processo é maior ou menor em comparação a outras. Dentro das zonas pode haver áreas com classes distintas, mas sua identificação não é possível devido a escala de trabalho. Nas áreas de suscetibilidade alta e média, pode ocorrer o processo, mas em grau menor. Suscetibilidade baixa não significa que os processos não poderão ser gerados em seu domínio, pois atividades humanas podem modificar sua dinâmica. A presença de feições associadas a processos pode alterar localmente a suscetibilidade. Os condicionantes geológicos e geotécnicos são determinantes, mas nem sempre bem com o não se decline a entanglo em escala que não seja a de origem, sendo que tais, para mapeamento, podem resultar em conclusões incertas. Estudos mais detalhados em nível local são necessários, quando se pretende tomar decisões específicas para o uso e ocupação do solo em áreas de suscetibilidade indicadas na carta. Nas zonas urbanizadas/edificadas, recomenda-se o fato de que as classes indicadas podem estar alteradas, para mais ou para menos, a depender do grau de influência da ocupação existente. A ocorrência de deslizamentos ela em áreas urbanizadas pressupõe condições com potencial de risco maior e exige estudos específicos.

Nota 2: Documento cartográfico elaborado pela empresa Geoja Mapas Digitais e Aerolevantamento LTDA no âmbito do contrato Nº 018-SUDEC

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES

MUNICÍPIO DE JACAREÍ - SP

1:25.000

0 1 2 3 4 Km

Sistema de Coordenadas: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM
Datum: SIRGAS2000
Meridiano Central: 45° W Gr.
Unidades: Metros
Origem da quilometragem: Meridiano Central 45° W Gr., acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.

SETEMBRO DE 2023

GEOJA MAPEAMENTO

PREFEITURA DE JACAREÍ