

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARTOGRAFIA DE PERIGO A ESCORREGAMENTO E INUNDAÇÃO
NA ESCALA 1:50.000 E RELAÇÃO COM ÁREAS DE RISCO E
CADASTRO DE EVENTOS**

Denise dos Santos Silva

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli
Co-orientador: Geól. Cláudio José Ferreira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 / 11)

SÃO PAULO
2011

TF
S586
DS.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARTOGRAFIA DE PERIGO A ESCORREGAMENTO E INUNDAÇÃO
NA ESCALA 1:50.000 E RELAÇÃO COM ÁREAS DE RISCO E
CADASTRO DE EVENTOS**

Denise dos Santos Silva



Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli
Co-orientador: Geól. Cláudio José Ferreira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 / 11)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900030282

SÃO PAULO
2011

TF
5586
D.S.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOLÓGICAS

CARTOGRAFIA DE PERIGO A ESCORREGAMENTO E INUNDACÃO
NA ESCALA 1:50.000 E RELAÇÃO COM ÁREAS DE RISCO E
CADASTRO DE EVENTOS



Daniela dos Santos Silva

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz
Co-orientador: Srta. Daniela José Freitas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(1997/1998)

SÃO PAULO
1998

AGRADECIMENTOS

Ao longo deste trabalho muitas pessoas contribuíram na sua elaboração. A todos meus sinceros agradecimentos. Um obrigada especial para:

Cláudio José Ferreira (Instituto Geológico-IG), co-orientador, pela ajuda imensurável na confecção deste trabalho. Pela paciência e atenção sempre presente ao longo desses últimos meses.

O Instituto Geológico e seus funcionários que sempre demonstraram muita simpatia e deram todo apoio necessário.

O Professor Dr. Fábio Taioli, orientador, pelas revisões e sugestões sempre pertinentes.

Sílvia Aparecida dos Santos Silva e Baltazar dos Santos Silva, meus pais, pelos ensinamentos e pela humildade. Agradeço por cada gesto de carinho e amor.

Amanda e Fabiana, minhas irmãs, pelas risadas e apoio em todos os momentos, inclusive abaixando o som pra eu me concentrar.

Meus valiosos amigos do coração que fizeram a minha vida mais colorida nesses últimos anos: Julia, Everton, Zé, Thainá, Karina e Pacotão.

Os alunos queridos do Cursinho Comunitário Francisco de Assis.

Os animais que fazem parte da minha vida e tornam todos momentos mais alegres. Pupa, Pituxa, Miguel, Frida, Gatinha e a outra Pituxa.

Sean Miki Hieda, namorado, amigo e companheiro pelo carinho, cuidado, apoio, opiniões, conselhos, discussões políticas, etc e tal.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal a elaboração dos Mapas de Perigo e Inundação e Escondimento na escala 1:50.000 das cidades de Fátima, de Vassouras, Mourão, Rio, Rio das Flores e Sarama, situadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), abrangendo uma área aproximada de 405 km².

O mapa de perigo representa o processo de ocorrência (probabilidade espacial e temporal) de um processo ou fenômeno que pode ocorrer dentro em uma área ou região. A escala de escala 1:50.000 deve ser a maior disponibilidade de dados, sem se oferecer uma visão abrangente de longo prazo, considerando uma escala fundamental para o planejamento da ocupação e uso do solo e para gestão ambiental.

A metodologia adotada prevê que o mapa seja desenvolvido para três aspectos fundamentais: por meio de interpretação de imagens digitais de imagens, a qual se põe em paralelo, cruzada e com as informações de uso e ocupação do solo, gerando as unidades de análise. Menos unidades foram elaboradas através de referências de nível médio de qualidade, detalhadas de drenagem, detalhadas de drenagem, aspectos físicos e urbanos, geológicos e do meio social (potencial de inundações). A quantificação e modelagem destes atributos geraram os índices de perigo e esondamento e a metodologia utilizada na elaboração dos mapas correspondentes.

Como complemento ao trabalho de campo e em situações de eventos especiais, os mapas gerados foram utilizados fundamentalmente para a definição de áreas de risco para mapeamento de detalhe, tanto para esondamento quanto para inundação, validando sua capacidade de aplicação e utilização exclusivamente de terreno, considerando um tempo curto.

A toda população das áreas visitadas.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal a elaboração dos Mapas de Perigo a Inundação e Escorregamento na escala 1:50.000 das cidades de Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Poá, Ribeirão Pires e Suzano, situados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), totalizando uma área aproximada de 408 km².

O mapa de perigo representa o potencial de ocorrência (probabilidade espacial e temporal) de um processo ou fenômeno que pode causar danos em uma área ou região. A escolha da escala 1:50.000 deveu-se a maior disponibilidade de dados, além de oferecer uma visão abrangente do território, constituindo uma etapa fundamental para o planejamento da ocupação e uso do solo e para gestão ambiental.

A metodologia adotada propôs que a área fosse compartimentada pelos seus aspectos geoambientais, por meio da interpretação de modelo digital de imagem, e que os polígonos gerados, cruzados com as informações de uso e ocupação do solo, gerassem as unidades de análise. Nestas unidades foram associados atributos referentes ao meio físico (amplitude, declividade, densidade de drenagem, densidade de lineamento, excedente hídrico e unidades geológicas) e ao meio social (potencial de indução). A quantificação e modelagem destes atributos geraram os índices de perigo a escorregamento e inundação utilizados na confecção dos mapas correspondentes.

Como comprovado em trabalho de campo e em cadastros de eventos recentes, os mapas gerados mostraram-se ferramentas satisfatoriamente úteis na definição de áreas-alvo para mapeamento de detalhe, tanto para escorregamento quanto para inundação, viabilizados pela sua simplicidade de execução e trabalhos exclusivamente de escritório, conferindo-lhe um baixo custo.

ABSTRACT

The main goal of this study was the hazard mapping for landslides and flooding at 1:50.000 scale of an area of 408km², which comprises the municipalities of Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Poá, Ribeirão Pires and Suzano, situated in the Metropolitan Region of São Paulo.

The hazard map represents the spatial and time probability of the occurrence of a process or phenomenon that may cause damage over an area or region. The regional scale adopted (1:50.000) is related with the availability of data and its importance to the land use planning and environmental management.

The method used was the landscape mapping to define the unit of analyses. They were generate by the intersection of polygons derived of the interpretation of digital elevation model and Landsat images representatives of the geological substratum and the land use units deduced from Ikonos image classification. To each unit were associated attributes significant to the landslides and flooding mapping, such as elevation amplitude, slope inclination, drainage density, lineaments density, hydro overflow and land use induction. The attributes were designed in equation and rules to return the hazard indexes and related maps.

The results quite matched with the ground conditions and event inventory. Accordingly, the method proved itself reliable to define target areas to detailed hazard and risk mapping and land use planning in a low cost basis.

1) Introdução	17
1.1) Justificativa	17
1.2) Objetivos	17
1.2.1) Unidades básicas de análise	17
1.2.2) Definição dos atributos	17
1.2.3) Trabalho de campo	18
2) Desenvolvimento do Trabalho	18
2.1) Mapas básicos gerados	18
2.1.1) Unidades básicas de Conservamento (UBCs)	18
2.1.2) Unidades temáticas de Uso e Cobertura de Terra (UMOTs)	19
2.1.3) Unidades Temáticas Saneamento (UTS)	21
2.1.3.1) Esboço de regras dos procedimentos no SIG	21
2.2) Associação dos atributos	21
2.2.1) Declividade	21
2.2.2) Amplitude	22
2.2.3) Densidade de drenagem	22
2.2.4) Densidade de drenagem	22
2.2.5) Densidade linear	22
2.2.6) Unidades geológicas	23

SUMÁRIO

1) Introdução	01
2) Objetivos	03
3) Fundamentação bibliográfica	03
3.1) Conceituação de escorregamento e inundação	03
3.1.1) Desastres naturais	03
3.1.1.1) Escorregamentos	04
3.1.1.2) Inundações	07
3.2) Conceituação de perigo e risco	09
4) Localização da área de estudo	11
4.1) Caracterização do meio físico	11
4.2) Estudos prévios	14
5) Materiais e métodos	16
5.1) Materiais	16
5.1.1) Obtenção de dados digitais da área de interesse	16
5.1.2) Organização do banco de dados em SIG	16
5.2) Métodos	17
5.2.1) Abordagem fisiográfica	17
5.2.2) Escala	17
5.2.3) Unidades básicas de análise	17
5.2.4) Definição dos atributos	17
5.2.5) Trabalho de campo	18
6) Desenvolvimento do trabalho	18
6.1) Mapas básicos gerados	18
6.1.1) Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)	18
6.1.2) Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra (UHCTs)	19
6.1.3) Unidades Territoriais Básicas (UTB)	21
6.1.3.1) Elaboração de roteiro dos procedimentos no SIG	21
6.2) Associação dos atributos	21
6.2.1) Declividade	21
6.2.2) Amplitude	22
6.2.3) Densidade de lineamento	22
6.2.4) Densidade de drenagem	22
6.2.5) Excedente hídrico	22
6.2.6) Unidades geológicas	23

6.2.7) Potencial de indução	23
6.3) Modelagem e geração de mapas temáticos de perigo a inundação e escorregamento na escala 1:50.000	24
6.3.1) Variável perigo a escorregamento	24
6.3.2) Variável perigo a inundação	25
6.4) Atividades de campo	26
7) Resultados obtidos	28
8) Discussão	29
9) Conclusão	30
10) Referências bibliográficas	31

ANEXO I – MAPAS

ANEXO II – FOTOS

ANEXO III – ROTEIRO DO SPRING

1) Introdução

Como episódios anunciados, ano após ano repete-se a ocorrência de desastres naturais provocando inúmeras perdas humanas e materiais. Política habitacional de baixa renda historicamente ineficiente, especulação imobiliária e escassez ou inexistência de apoio técnico para as populações, condicionam a ocupação de áreas inadequadas com características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis.

No Estado de São Paulo, escorregamentos de encostas e inundações estão entre os principais desastres naturais registrados. A grande quantidade de desastres ocorrida no Brasil no verão de 2010-2011, durante eventos pluviométricos intensos e concentrados, deixou explícita a necessidade de uma maior articulação entre pesquisas científicas, tecnológicas e políticas públicas, de pesados investimentos em ações de monitoramento e gerenciamento de áreas de risco e da formação de uma cultura de prevenção por meio de informação e divulgação.

Métodos e técnicas de identificação, análise e cartografia de perigo e risco naturais têm tido um amplo desenvolvimento nacional e internacional nos últimos anos. A cartografia de perigo surge como uma importante ferramenta para o auxílio do planejamento de ocupação e uso do solo visando o controle e redução dos desastres naturais. Como afirma Tominaga *et al.* (2009), o mapa de perigo representa o potencial de ocorrência (probabilidade espacial e temporal), em uma área ou região, de ocorrer um processo ou fenômeno que pode causar danos.

O presente trabalho teve como objetivo realizar o mapeamento de perigo a escorregamento e inundação em escala 1:50.000 com base na abordagem fisiográfica ou da paisagem das cidades de Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Poá, Ribeirão Pires e Suzano, situados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), totalizando uma área aproximada de 408 km².

A metodologia adotada propõe que a área seja compartimentada pelos seus aspectos geoambientais por meio da interpretação de imagens de satélite e que os polígonos gerados, cruzados com as informações de uso e ocupação do solo, gerem as unidades de análise. Nestas unidades foram associados atributos referentes ao meio físico (amplitude, declividade, densidade de drenagem, densidade de lineamento, excedente hídrico e unidades geológicas) e ao meio social (potencial de indução). A quantificação e modelagem destes atributos geraram os índices de perigo a escorregamento e inundação utilizados na confecção dos mapas correspondentes.

Como comprovado em trabalho de campo e nos cadastros de eventos recentes, os mapas gerados mostraram-se ferramentas satisfatoriamente úteis na definição de áreas-alvo para mapeamento de detalhe, tanto para escorregamento quanto para inundação, viabilizados

pela sua simplicidade de execução e trabalhos exclusivamente de escritório, conferindo-lhe um baixo custo.

A importância do projeto baseia-se na relevância nacional e internacional do tema desastres naturais, com ênfase nos escorregamentos e inundações. O projeto representa uma oportunidade de contribuir para o aprimoramento de políticas públicas estaduais de gerenciamento dos desastres naturais.

O fluxograma a seguir (Figura 1) representa as etapas e procedimentos utilizados ao longo do trabalho.

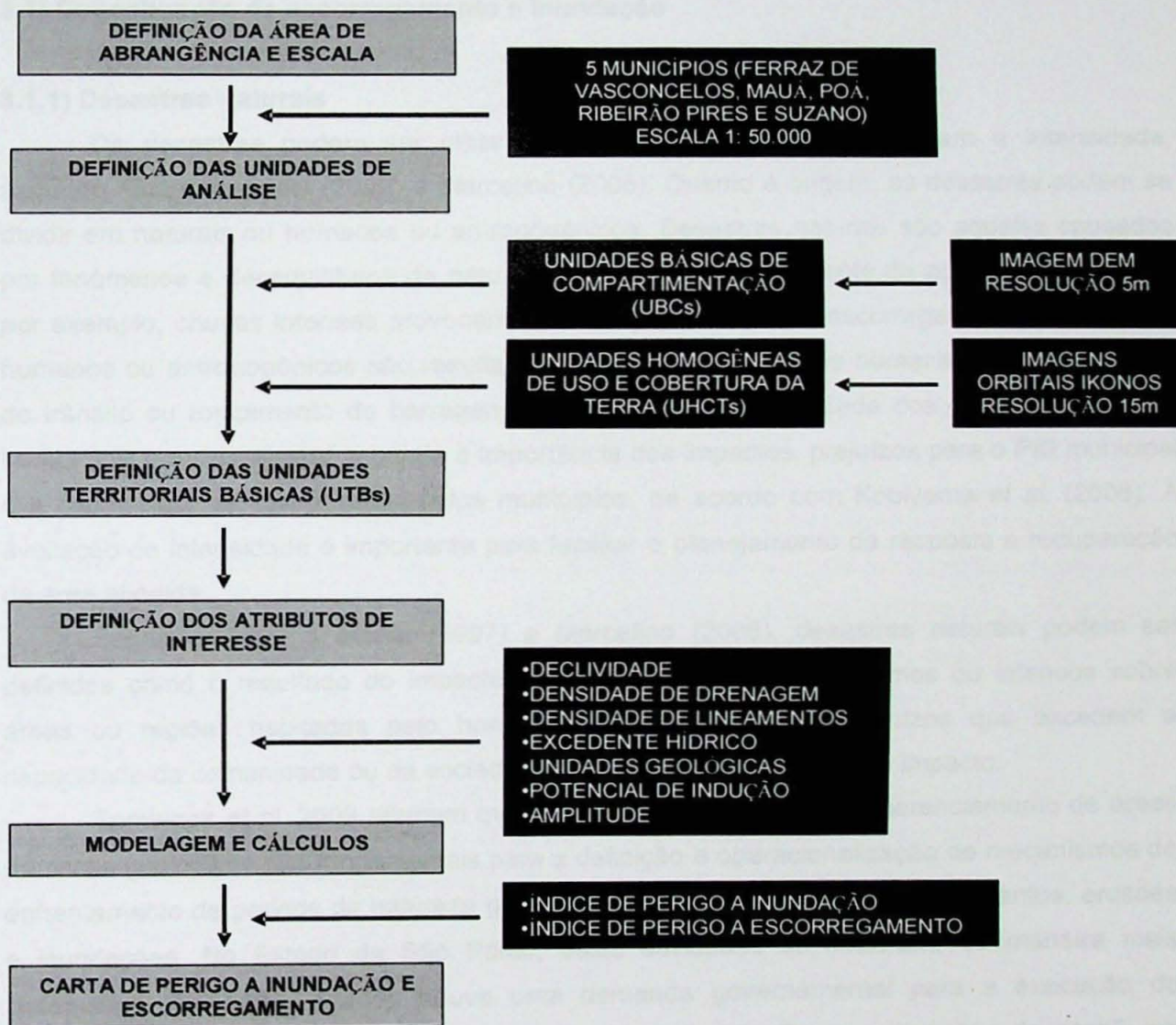


Figura 1 – Fluxograma com as etapas e procedimentos utilizados ao longo da elaboração do mapeamento.

2) Objetivos

O objetivo principal do projeto é a elaboração de cartografia de perigo a escorregamento e inundação na escala 1:50.000 em área selecionada da RMSP. Os objetivos específicos são a avaliação da função e do uso da carta regional para a definição de áreas-alvo e mapeamento de detalhe e a sua relação com mapas de risco em escala regional e cadastro de eventos.

3) Fundamentação bibliográfica

3.1) Conceituação de escorregamento e inundação

3.1.1) Desastres naturais

Os desastres podem ser classificados de acordo com sua origem e intensidade, segundo Alcântara-Ayala (2002) e Marcelino (2008). Quanto à origem, os desastres podem se dividir em naturais ou humanos ou antropogênicos. Desastres naturais são aqueles causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza que atuam independente da ação humana, como por exemplo, chuvas intensas provocando inundação, erosão ou escorregamentos. Desastres humanos ou antropogênicos são resultados de ações ou omissões humanas, como acidentes de trânsito ou rompimento de barragens, por exemplo. A intensidade dos desastres varia de Nível I a IV e é classificada segundo a importância dos impactos, prejuízos para o PIB municipal e a capacidade de recuperação pelos municípios, de acordo com Kobiyama *et al.* (2006). A avaliação da intensidade é importante para facilitar o planejamento da resposta e recuperação da área atingida.

Segundo Tobin & Montz (1997) e Marcelino (2008), desastres naturais podem ser definidos como o resultado do impacto de fenômenos naturais extremos ou intensos sobre áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando danos e prejuízos que excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com o impacto.

Tominaga *et al.* 2009 afirmam que a identificação, avaliação e gerenciamento de áreas de riscos geológicos são fundamentais para a definição e operacionalização de mecanismos de enfrentamento de perigos de natureza geológico-geotécnicas, como escorregamentos, erosões e inundações. No Estado de São Paulo, estas atividades se iniciaram, de maneira mais sistemática, em 1988, quando houve uma demanda governamental para a execução do relatório "Instabilidades da Serra do Mar no Estado de São Paulo - situações de risco", em função de acidentes em larga escala e com graves consequências ocorridas no litoral norte paulista no verão de 1987-1988.

A identificação de novas áreas de risco no Estado tem estimulado a elaboração de mapeamento de áreas de riscos geológicos e hidrológicos pelo Instituto Geológico (IG-SMA),

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Ministério das Cidades, com vistas à prevenção e minimização de acidentes e danos aos moradores dessas áreas críticas.

3.1.1.1) Escorregamentos

Tominaga *et al.* (2009) definem escorregamentos como movimentos de massa rápidos, de porções de terrenos (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente (Figura 2).



Figura 2 – Situação de risco associada a escorregamento na cidade de Suzano (SP). Fonte: Plano Municipal de Erradicação de Áreas de Risco – Suzano, 2010.

Segundo Guidicini & Nieble (1984), um escorregamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento do escorregamento. Portanto, a massa de solo se movimenta no momento em que a componente da força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade. Normalmente, a infiltração de água no solo provoca a diminuição do atrito entre as partículas.

O termo genérico escorregamentos ou deslizamentos engloba uma variedade de tipos de movimentos de massa de solos, rochas ou detritos. A Tabela 1 a seguir lista a classificação de escorregamentos e processos afins proposta por Augusto Filho (1992) e as figuras abaixo ilustram cada processo.

Processos	Características de Dinâmica/Geometria/Material
<p style="text-align: center;">CORRIDAS (<i>FLAWS</i>) Figura 3 - a</p>	<ul style="list-style-type: none"> • muitas superfícies de deslocamento • 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
<p style="text-align: center;">RASTEJO (<i>CREEP</i>) Figura 3 - b</p>	<ul style="list-style-type: none"> • vários planos de deslocamento (internos) • velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • geometria indefinida
<p style="text-align: center;">QUEDAS (<i>FALLS</i>) Figura 3 - c</p>	<ul style="list-style-type: none"> • sem planos de deslocamento • movimentos 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. <p><i>Rolamento de matacão</i> <i>Tombamento</i></p>
<p style="text-align: center;">ESCORREGAMENTOS (<i>SLIDES</i>) Figura 4</p>	<ul style="list-style-type: none"> • poucos planos de deslocamento (externos) • velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • pequenos a grandes volumes de material • geometria e materiais variáveis: <p><i>Rotacionais ou circulares</i> – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas <i>Planares</i> – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza <i>Em cunha</i> – solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>

Tabela 1 – Características dos principais grupos de processos de escorregamento. Fonte: Augusto Filho (1992).

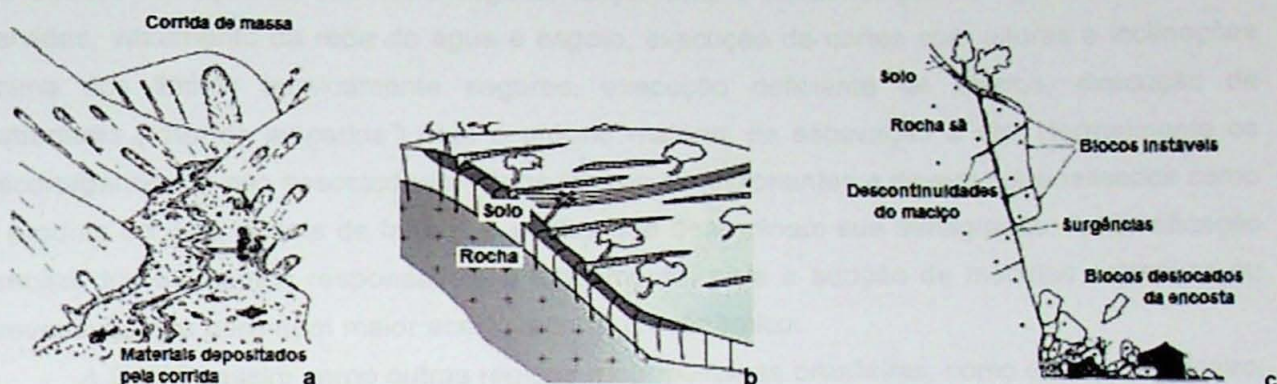


Figura 3 – Perfis esquemáticos dos (a) Processo de corrida (*flows*); (b) Processo de rastejo (*creep*) e (c) Processo de queda (*falls*). Fonte: Cunha (1991).

Os escorregamentos propriamente ditos podem ser divididos em três tipos segundo a geometria e natureza dos materiais instabilizados: escorregamento rotacional ou circular (Figura 4 - a), escorregamento planar (Figura 4 - b) e escorregamento em cunha (Figura 4 - c). Cada processo apresenta características particulares em termos dos tipos dos materiais mobilizados (solo ou rocha), velocidades relativas, tipo de movimento predominante, geometria de ruptura, condicionantes naturais e antrópicos, agentes deflagradores e etc.



Figura 4 – (a) Esquema de escorregamento rotacional ou circular; (b) Esquema de escorregamento planar e (c) Esquema de escorregamento em cunha. Fonte: Tominaga *et al.* (2009).

Segundo o Ministério das Cidades/IPT (2007), os escorregamentos ocorrem sob a influência de condicionantes naturais, antrópicos, ou ambos. Os condicionantes naturais podem se dividir em dois grupos: o de agentes predisponentes e o dos agentes efetivos. Agentes predisponentes são o conjunto de características intrínsecas ao meio físico natural, diferenciando-se em complexo geológico-geomorfológico e complexo hidrológico-climático, além da gravidade e da vegetação natural. Agentes efetivos são os elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa como pluviosidade, erosão pela água e pelo vento, congelamento e degelo, variação da temperatura e umidade, dissolução química, vibrações, ações do homem, dentre outros. Como condicionantes antrópicos podem

ser citados remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamento da rede de água e esgoto, execução de cortes com alturas e inclinações acima dos limites tecnicamente seguros, execução deficiente de aterros, execução de patamares (“aterros lançados”) com o próprio material de escavação e etc. Normalmente os escorregamentos são associados a vários fatores condicionantes e devem ser analisados como o produto de uma cadeia de fatores e efeitos que determinam sua deflagração. A identificação precisa dos elementos responsáveis é fundamental para a adoção de medidas corretivas ou preventivas que garantam maior acerto técnico e econômico.

A RMSP, assim como outras regiões metropolitanas brasileiras, como do Rio de Janeiro, Salvador e Belo Horizonte, corresponde à área onde os riscos geológicos associados a escorregamento em encostas ocupadas assumem as maiores dimensões, de acordo com Cerri (1993).

3.1.1.2) Inundações

Inundações e enchentes representam uns dos principais tipos de desastres naturais que afligem diversas partes do planeta, seja em regiões urbanas ou rurais. Segundo dados da CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil), no período de 2000 a 2008, por exemplo, a RMSP tem tido maior número de óbitos em consequência de enchentes e inundações, em virtude, principalmente, da falta de políticas públicas de ocupação.

O Ministério das Cidades/IPT (2007) diferencia o conceito *enchente* ou *cheia*, que corresponde uma elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devida ao aumento da vazão ou descarga, do conceito inundação, que corresponde ao processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio. Portanto, a diferença se resumiria ao confinamento ou não das águas de um curso d’água no seu canal de drenagem.

As enchentes e inundações em áreas urbanas podem estar relacionadas a condicionantes naturais climáticas e geomorfológicas como pluviometria, tamanho e forma da bacia e gradiente hidráulico do curso d’água. Essas características determinam frequência de ocorrência, tipologia e dinâmica do escoamento superficial de processos de enchentes e inundações. Como condicionantes antrópicas ocorrem as intervenções realizadas no meio físico que modificam as condições originais do ciclo hidrológico de uma dada região, como desmatamento, exposição dos terrenos a erosão e consequente assoreamento dos cursos d’água, impermeabilização de terrenos, intervenção estrutural nos cursos d’água e etc. A ocupação desordenada dos terrenos marginais pode ser incluída nesse rol de interferências antrópicas com o adendo de que a instalação da população em terrenos que oferecem risco é

uma consequência direta da histórica ineficácia de políticas públicas habitacionais e da especulação imobiliária. A Tabela 2 lista os principais tipos de processos associados a enchentes e inundações e suas características quanto à origem, dinâmica e poder destrutivo.

Associado às enchentes e inundações está a erosão em margem de cursos d'água (rios e córregos), também conhecida por "desbarrancamento" ou "solapamento", comumente acarretando a instabilização da margem do curso d'água. Com a evolução do processo erosivo pode ocorrer o desbarrancamento, ou seja, a queda de uma porção do talude do canal da drenagem, conforme Figuras 5 e 6. Em geral, quando drenagens cortam o meio urbano são realizadas alterações no traçado natural dos rios, influenciando e modificando a dinâmica fluvial, que por sua vez acelera processos de erosão e solapamento.

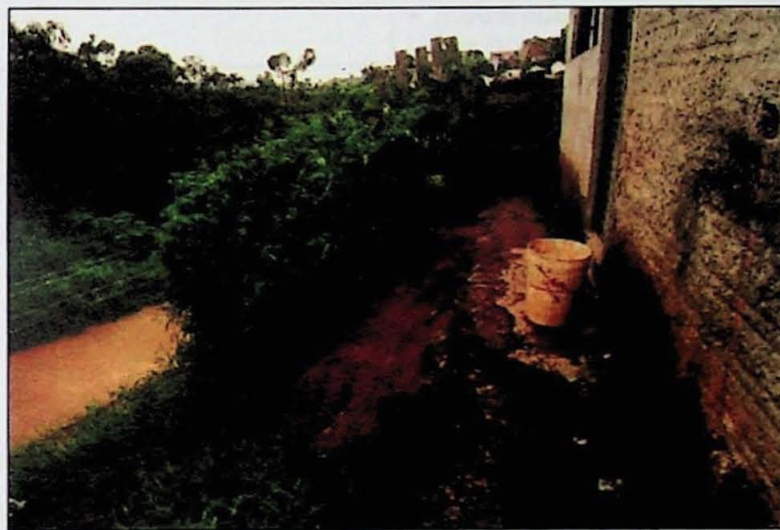


Figura 5 – Situação de risco associada à erosão e solapamento dos taludes marginais, no município de Suzano. Fonte: Plano Municipal de Erradicação de Áreas de Risco – Suzano, 2010.



Figura 6 – Situações de risco associadas das águas, quando do registro de chuvas intensas / S – Solapamento das margens; A – Ação direta das águas. Fonte: Carvalho & Galvão (2006) às margens de córregos, em razão da possibilidade de ocorrência de solapamentos e/ou da própria ação direta).

Processos	Características
INUNDAÇÃO DE TERRENOS DE BAIXADA	<ul style="list-style-type: none"> • inundação de extensas áreas de baixada associadas à planície de inundação dos rios; • dinâmica lenta de escoamento superficial; • recuo lento das águas para o leito menor; • grande número de moradias afetadas; • geralmente não há registro de perdas de vidas humanas; • nas baixadas litorâneas há o efeito da maré.
ENCHENTE ATINGINDO OCUPAÇÃO RIBEIRINHA	<ul style="list-style-type: none"> • efeitos restritos ao canal de drenagem; • processos de erosão e solapamento dos taludes marginais decorrentes da enchente; • impacto destrutivo em função da energia de escoamento; • alta possibilidade de destruição de moradias; • moderada a alta possibilidade de perda de vidas humanas.
ENCHENTE E INUNDAÇÃO COM ALTA ENERGIA DE ESCOAMENTO E CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE MATERIAL SÓLIDO	<ul style="list-style-type: none"> • ocorre geralmente em anfiteatros de drenagem de relevo serrano; • alta energia de impacto destrutivo; • alta possibilidade de perda de vidas humanas; • possibilidade de destruição total ou parcial de moradias.

Tabela 2 – Tipos de características de processos de inundação/enchente. Fonte: BRASIL (2004).

3.2) Conceituação de perigo e risco

A diferenciação e a relação entre os conceitos de risco e perigo geológico são importantes questões a serem levantadas. Ambos os termos foram consolidados na década de 1980 por Varnes (1984) e Einstein (1988). Entretanto, ao longo do tempo, passaram por modificações e readaptações, chegando atualmente próximo das definições das companhias de seguro.

Risco (R) é a possibilidade de se ter conseqüências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem. É a soma dos fatores perigo, vulnerabilidade e dano. Perigo (P) é a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente danoso. É estimada a partir da identificação e análise de feições e características do terreno indicadoras de maior ou menor grau de suscetibilidade, combinadas a observações sobre a forma de uso e ocupação do terreno.

O risco é a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento e suas conseqüências negativas, segundo UNISDR (2009), e pode ser expresso pela equação $R = [P \times V \times D]$, na qual a variável V (vulnerabilidade) define as características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou bem que a fazem suscetível aos efeitos de um perigo e o D (dano

potencial) está relacionado à perda de vidas, impactos na saúde, danos a propriedades, perdas de bens e serviços, distúrbios sociais e econômicos e danos ao meio ambiente.

No modelo de fluxograma a seguir (Figura 7) pode-se notar que a carta de perigo é gerada anteriormente à carta de risco, de modo que nesta são acrescentados os fatores vulnerabilidade e dano potencial e considera-se a população como elemento de risco. Porém, em ambos há análise dos fatores do meio físico e do uso e ocupação do solo.

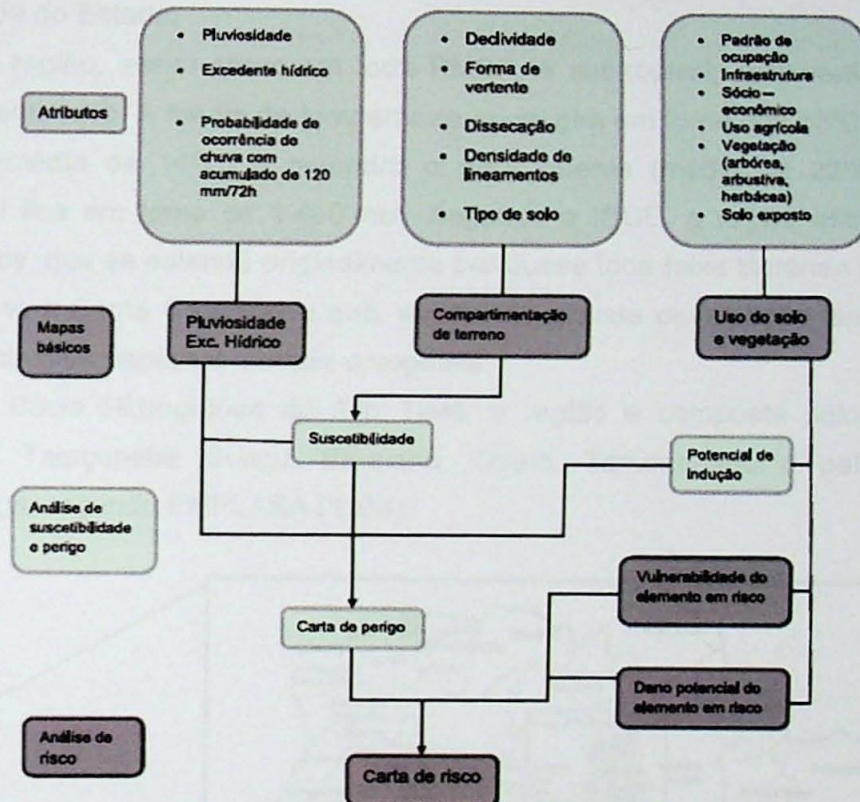


Figura 7 – Fluxograma da análise de perigo e risco. Extraído de Tominaga *et al.* (2009).

O mapeamento de risco costuma utilizar uma escala com 5 graus de probabilidade de ocorrência de processos: a) Muito Alto (R4); b) Alto (R3); c) Médio (R2), d) Baixo (R1) e e) Nulo ou muito baixo (R0). Analogicamente, o mapeamento de perigo utiliza uma escala semelhante, variando de P0 a P4.

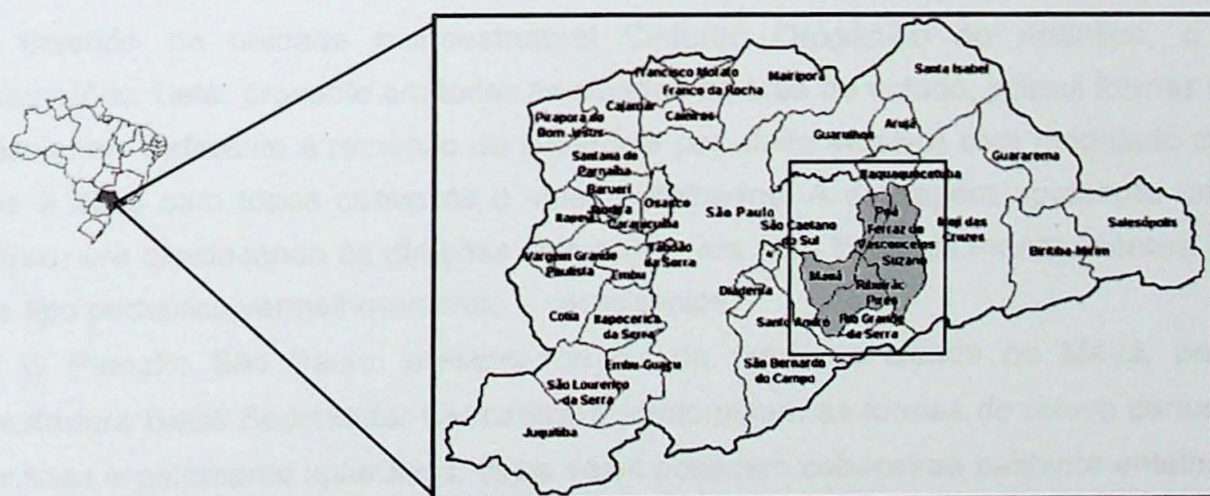
As cartas de risco geológico podem ser produzidas em diversas escalas. Contudo, seu uso é mais apropriado para estudos geológico-geotécnicos nas escalas 1:10.000 ou 1:5.000 e em estudos de detalhe (escala > 1:5.000). Elas apresentam a distribuição do risco numa área ocupada e podem auxiliar no planejamento de infra-estrutura e atender aos que trabalham com a redução do risco em áreas específicas. No geral, as áreas indicadas para realização de cartas de risco são discriminadas anteriormente em zoneamentos regional e de escala média.

4) Localização da área de estudo

A área de estudo, com extensão total aproximada de 408 km², situa-se na RMSP e compreende os municípios de Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Poá, Ribeirão Pires e Suzano (Croqui 1). O acesso a partir da capital para os municípios de Ferraz de Vasconcelos, Poá e Suzano pode ser feito através da Avenida Marginal Tietê, seguindo a Rodovia Ayrton Senna (SP-070). Para os municípios de Mauá e Ribeirão Pires, o acesso pode ser feito, a partir da capital, pela Avenida do Estado.

O clima da região, assim como em toda RMSP, é subtropical, com verão chuvoso e inverno ameno e semi-seco. A média de temperatura anual gira em torno dos 18°C, sendo julho o mês mais frio (média de 14°C) e fevereiro o mais quente (média de 22°C). O índice pluviométrico anual fica em torno de 1.400 mm. Segundo o IBGE, a região está inserida no Bioma Mata Atlântica, que se estende originalmente por quase toda faixa litorânea brasileira (do Rio Grande do Norte a Santa Catarina) e que, apesar da grande devastação, apresenta uma quantidade significativa de espécies animais e vegetais.

Inserida na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, a região é composta pelos rios Tietê, Taiaçupeba Mirim, Taiaçupeba Guaçu, Barainho, Guaió, Tamanduateí e pelas represas Taiaçupeba e *Billings*, segundo EMPLASA (1984).



Croqui 1 – Localização da área de estudo correspondente aos municípios de Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Poá, Ribeirão Pires e Suzano, na RMSP.

4.1) Caracterização do meio físico

Na área de estudo são encontradas rochas do Complexo Embu, Suítes Graníticas, Sedimentos Cenozóicos e Sedimentos Aluviais do Quaternário segundo DNPM/CPRM (1991) – ver Figura 8. O Complexo Embu constitui o embasamento de maior expressão da área e é composto por migmatitos e gnaisses graníticos, micaxistos e metarenitos e anfibolitos, segundo EMPLASA (1984). Segundo Rodriguez (1998), a potencialidade de ocorrências de

escorregamentos é tida como alta em grande parte da sua exposição, devido principalmente às litologias xistosas.

As Suítes Graníticas são formadas por granitos e granodioritos, que conforme Hasui & Carneiro (1980), ocorrem na RMSP constituindo batólitos que sustentam relevos de topografia elevada por serem rochas resistentes aos processos intempéricos. Rodriguez (1998) afirma que estas rochas são classificadas como de baixa a média potencialidade relativa para escorregamentos.

Os Sedimentos Cenozóicos da Formação de São Paulo correspondem a depósitos de sistema fluvial meandrante, constituída por areias grossas a médias que gradam para areias mais finas, até siltes e argilas, segundo Suguio *et al.* (1972). Devido à ocorrência de vertentes suaves, esta formação possui baixa potencialidade para escorregamentos.

Os Sedimentos Aluviais do Quaternário são compostos por material inconsolidado, em particular os depósitos aluvionares de areia, areia quartzosa, cascalheira, silte, argila e turfa, ao longo das principais drenagens e por depósitos coluvionares em vertentes.

A RMSP localiza-se na porção do Planalto Atlântico (Almeida, 1964), mais especificamente na zona que constitui o chamado Planalto Paulistano, segundo Ab'Saber & Bernardes (1958). A caracterização geomorfológica mais recente da área foi baseada na divisão realizada por Ross & Moroz (1997) e será detalhada a seguir.

Inserido na unidade morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico, o Planalto Paulistano/Alto Tietê, presente em todas as cidades da área de estudo, possui formas de relevo denudacionais (referente à remoção da superfície por efeito erosivo) com modelado de morros médios e altos com topos convexos e vales entalhados. A drenagem apresenta um padrão dendrítico, ora obedecendo às direções estruturais, ora com traçados independentes. Os solos são do tipo podzólico vermelho-amarelo e cambissolos.

O Planalto São Paulo, presente no sul da área, na cidade de Mauá, pertence à morfoestrutura Bacia Sedimentar Cenozóica e predominam as formas de relevo denudacionais com colinas e patamares aplanados, cujos vales possuem cabeceiras bastante entalhadas nas primeiras e pequeno entalhamento nos segundos. Os solos são do tipo latossolo vermelho-amarelo e vermelho-escuro. Ainda na mesma morfoestrutura, nas cidades de Poá e Suzano, localizam-se as Planícies Fluviais Diversas. Estas são encontradas em áreas junto às margens dos rios e são formadas por terrenos planos baixos sujeitos a inundações periódicas e terraços fluviais com áreas planas levemente inclinadas e quase sempre livres de inundações. Os solos são do tipo glei húmico e glei pouco húmico.

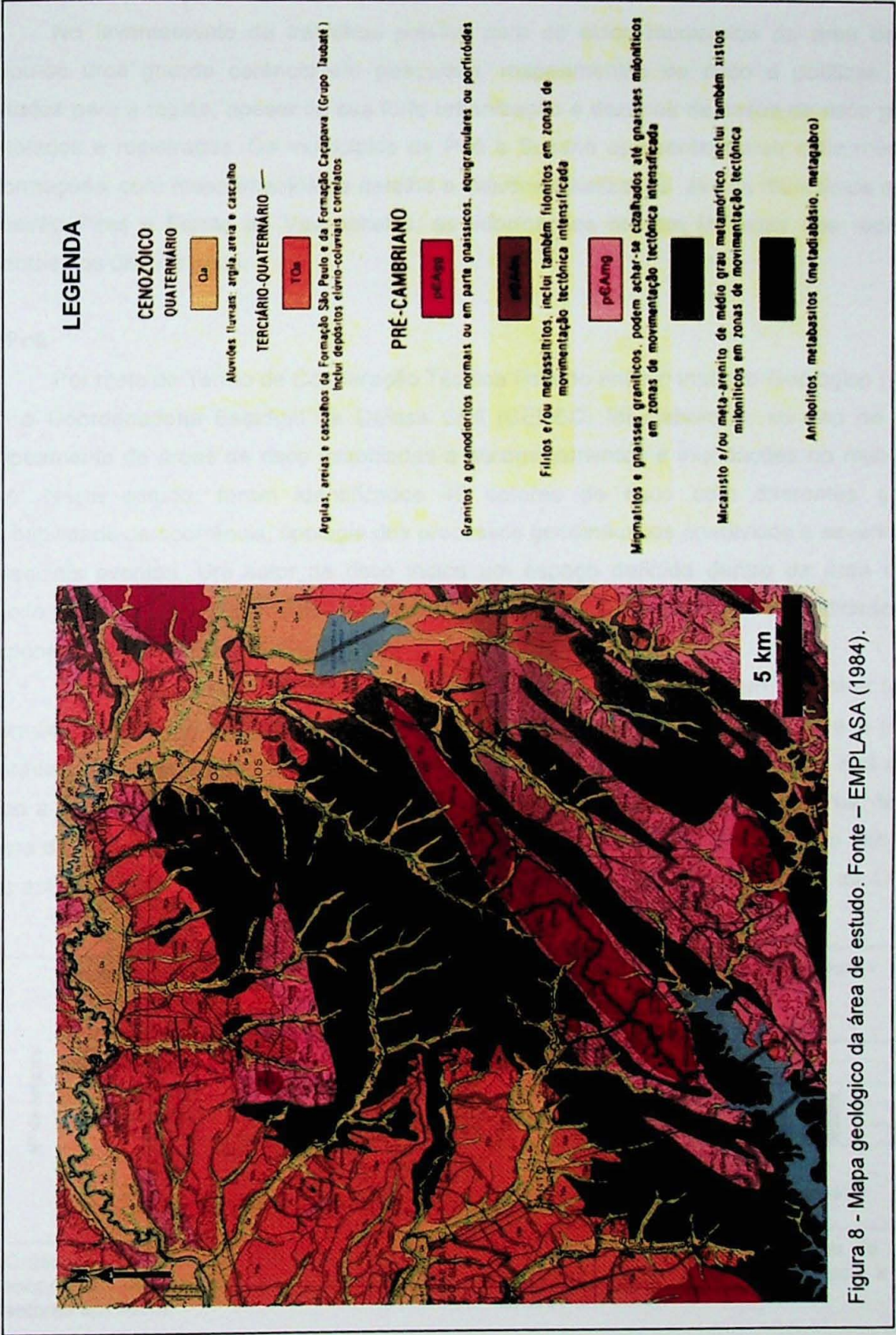


Figura 8 - Mapa geológico da área de estudo. Fonte - EMPLASA (1984).

4.2) Estudos prévios

No levantamento de trabalhos prévios para os cinco municípios da área de estudo notou-se uma grande carência em pesquisas, mapeamentos de risco e políticas públicas voltadas para a região, apesar de sua forte urbanização e dezenas de casos de risco geológico instalados e registrados. Os municípios de Poá e Suzano apresentaram-se mais munidos de informações, com mapeamentos de detalhe e estudos atualizados. Já nos municípios de Mauá, Ribeirão Pires e Ferraz de Vasconcelos, as informações ficaram limitadas aos registros de eventos nos últimos anos.

a) Poá

Por meio do Termo de Cooperação Técnica firmado entre o Instituto Geológico (IG-SMA) em a Coordenadoria Estadual da Defesa Civil (CEDEC) foi elaborado, no ano de 2006, o mapeamento de áreas de risco associadas a escorregamentos e inundações no município de Poá. Neste estudo, foram identificados 40 setores de risco com diferentes graus de probabilidade de ocorrência, tipologia dos processos geodinâmicos envolvidos e severidade dos potenciais eventos. Um setor de risco indica um espaço definido dentro da área estudada sujeito a sofrer um determinado processo destrutivo cujas evidências ou indicadores pré-disponíveis foram identificados em campo.

Do total de setores, 21 apresentaram risco a escorregamentos em encostas (com 815 moradias sujeitas) e 19 apresentaram risco a inundações/solapamento das margens (com 727 moradias sujeitas). Os gráficos a seguir (Gráfico 1 e 2) mostram a distribuição das áreas de risco a escorregamento e inundações nos diferentes graus para o município de Poá. Notar que cerca de 86% das áreas sujeitas a escorregamento são de risco alto (R3) a muito alto (R4). Já nas áreas sujeitas à inundações, predomina o grau de risco médio (R2), com cerca de 47%.



Gráfico 1 - Distribuição das áreas de risco a escorregamento em Poá (graus de risco x nº de setores em risco).



Gráfico 2 - Distribuição das áreas de risco a inundações em Poá (graus de risco x nº de setores em risco).

b) Suzano

Por meio de convênio entre a Prefeitura de Suzano e o Ministério das Cidades foi realizado, no ano de 2010, o Plano Municipal de Erradicação de Áreas de Risco (PMER) no município. Os estudos foram feitos por técnicos da Unesp (Universidade Estadual Paulista) e o objetivo foi avaliar as condições de risco nas áreas afetadas por escorregamentos e inundação. Nas 37 áreas indicadas pela Prefeitura foram identificados 91 setores de risco. Desse total, 68 apresentaram algum grau de risco a escorregamento/solapamento/erosão e 23 setores apresentaram algum grau de risco a alagamento/inundação, conforme Gráfico 3 e 4. No total dos setores de risco assentam-se 1045 moradias, dentre as quais 580 casas estão situadas em beiras de córregos e rios. Como os dados mostram, a maior parte dos setores de risco identificados no município estão associados à probabilidade de escorregamento. Do total geral, quase 60% estão em taludes de corte, indicando que a maior parte do risco geológico em Suzano se deve às características da ocupação aliada à escassez de políticas públicas.

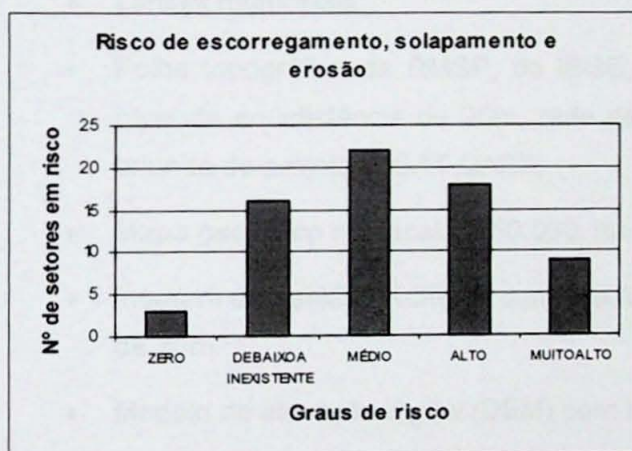


Gráfico 3 - Distribuição das áreas de risco a escorregamento, solapamento e erosão em Suzano (graus de risco x nº de setores em risco).

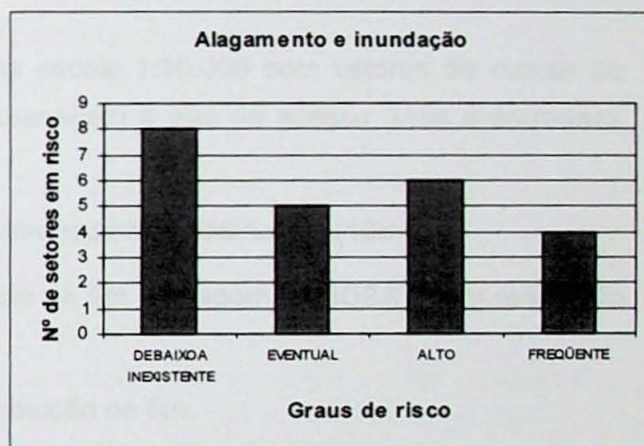


Gráfico 4 - Distribuição das áreas de risco a alagamento e inundação em Suzano (graus de risco x nº de setores em risco).

c) Ferraz de Vasconcelos, Mauá e Ribeirão Pires

Devido à escassez de material bibliográfico e cartográfico produzido, para os municípios de Ferraz de Vasconcelos, Mauá e Ribeirão Pires foram analisados apenas os cadastros de eventos registrados e fornecidos pelo IG-SMA no período de 2003–2010. Os eventos concentraram-se nos meses de dezembro, janeiro e março, com 9 registros de escorregamento em Mauá, 20 registros de escorregamento em Ribeirão Pires e 1 vistoria técnica em Ferraz de Vasconcelos, na qual a maioria refere-se a escorregamentos em talude de corte e talude de aterro. Estas cidades possuem áreas bastante críticas, principalmente no caso de Mauá, que com frequência é divulgado pela mídia de amplo alcance devido aos casos de deslizamentos

com vítimas. No caso de Ferraz de Vasconcelos a situação é semelhante, como observado em visita de campo, porém, com menor repercussão e registro de eventos.

5) Materiais e métodos

5.1) Materiais

5.1.1) Obtenção de dados digitais da área de interesse

O levantamento das informações básicas, para a seleção da documentação a ser utilizada na execução deste trabalho e a confecção do mapeamento de perigo, foi efetuado com auxílio e fornecimento de materiais digitalizados pelo Instituto Geológico (IG) e pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP). Além da bibliografia, esta documentação consta de:

- Limites municipais;
- Folha topográfica da RMSP, do IBGE, na escala 1:50.000 com vetores de curvas de nível de equidistância de 20m, rede de drenagem e vias de acesso (ruas e estradas), oriunda do projeto GISAT-DAEE;
- Mapa geológico na escala 1:50.000, na forma *raster* da EMPLASA (1984);
- Imagem de satélite IKONOS com resolução de 5m e imagem LANDSAT com resolução de 30m.
- Modelo de elevação digital (DEM) com resolução de 5m.

5.1.2) Organização do banco de dados em SIG

As informações levantadas foram organizadas no software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) brasileiro SPRING 5.1.7 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) para a confecção dos mapas temáticos. Optou-se pelo SPRING em função da licença de uso gratuita, fácil e simples instalação, por dispensar o uso de hardwares potentes e conter as rotinas computacionais necessárias. Este software foi desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e conta com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Para conversão de formato de imagem e geração de documentos cartográficos foram utilizados os módulos Impima e Scarta do SPRING, respectivamente. Os softwares gvSIG e GIMP 2 foram usados alternativamente aos citados acima.

5.2) Métodos

5.2.1) Abordagem fisiográfica

Uma questão metodológica fundamental na cartografia de perigos relacionados a escorregamento e inundação nas escalas regional (1:50.000) e de semi-detálhe (1:10.000) é a escolha do tipo de abordagem, se paramétrica ou fisiográfica.

A abordagem paramétrica caracteriza-se pelo cruzamento de vários planos de informação (declividade, litologia, tipos de solo, por exemplo) para gerar unidades (polígonos) que representam a soma de todos os fatores levados em consideração.

Na abordagem fisiográfica, a análise dos diversos elementos componentes do meio físico é feita de forma integrada, a partir da fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite, por exemplo), possibilitando a elaboração de apenas um único produto cartográfico que integra os diversos elementos morfo-ambientais, de acordo com Vedovello (1993, 2000) e Vedovello & Mattos (1991, 1998). O presente trabalho adotou esta abordagem.

5.2.2) Escala

A escolha da escala 1:50.000 deveu-se, a princípio, à maior disponibilidade de dados. Além disso, segundo Ferreira & Rossini-Penteado (2011), trabalhos em escala regional oferecem uma ampla e abrangente visão do território e constituem, portanto, uma etapa fundamental para o planejamento da ocupação e gestão ambiental, com a possibilidade de definir áreas-alvo prioritárias para o mapeamento e a análise de risco em escalas de detalhe, baseadas fortemente em cadastro de eventos.

5.2.3) Unidades básicas de análise

Na definição das unidades de análise referentes ao perigo de escorregamento e inundação foi realizada a associação, ou sobreposição, do mapa de compartimentação fisiográfica (UBCs) do terreno, que representa o substrato geológico-geomorfológico-pedológico, com o mapa de uso e cobertura da terra (UHCTs). O cruzamento das informações resultou nas chamadas Unidades Territoriais de Compartimentação (UTBs), que formaram as células básicas de análise na qual foram associados os atributos descritos no item a seguir.

5.2.4) Definição dos atributos

A escolha dos atributos, ou indicadores, baseou-se nas características ou propriedades do terreno relevantes para as análises previstas. Assim, 7 atributos (Tabela 5) referentes ao

meio físico e social foram obtidos e agregados às unidades de análise (UTBs), cuja descrição encontra-se detalhada no Item 6.2.

Atributos	Descrição
Amplitude (AA)	Expressa a quantidade de material da encosta.
Declividade (DE)	Expressa inclinação das vertentes.
Densidade de drenagem (DD)	Expressa permeabilidade e grau de fraturamento do terreno.
Densidade de lineamento (DL)	Expressa grau de estruturação do terreno.
Excedente hídrico (EH)	Expressa quantidade de chuva.
Potencial de indução uso e cobertura da terra (PI)	Expressa influência do uso e cobertura da terra no desencadeamento do processo perigoso.
Unidades geológicas (UG)	Expressa a resposta aos processos de intemperismo e erosão.

Tabela 5 – Atributos das unidades territoriais básicas (UTBs) e suas respectivas descrições. Modificado de Ferreira & Rossini (2011).

5.2.5) Trabalho de campo

Como etapa final do trabalho, foi realizado um trabalho de campo de campo cujo objetivo foi checar a classificação gerada pelo mapeamento de perigo. Foi dada prioridade para áreas de alto a muito alto perigo. A descrição encontra-se no Item 6.4.

6) Desenvolvimento do trabalho

6.1) Mapas básicos gerados

Previamente à elaboração dos mapas de perigos a escorregamento e inundação finais, outros 3 mapas básicos foram gerados (UBCs, UHCTs e UTBs), cujo objetivo foi compartimentar a área de estudo usando critérios físicos e sociais para que as unidades de análise fossem obtidas.

6.1.1) Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)

As UBCs foram obtidas a partir da fotoleitura e fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite e fotografias aéreas. A delimitação das UBCs foi feita com base no princípio de que a identificação de zonas homogêneas na imagem corresponde à identificação de diferentes áreas

no meio físico, na qual ocorre uma associação determinada dos elementos componentes desse meio. Os seguintes procedimentos operacionais foram adotados:

- Adoção como produto de sensoriamento remoto modelo digital de elevação (DEM) com eventual auxílio das imagens de satélite IKONOS e LANDSAT e cartografia topográfica, geológica e geomorfológica;
- Compartimentação da área de estudo com base nas diferenças de homogeneidade, tropia e assimetria de elementos texturais e tonais das imagens, assim como outras propriedades, tais como densidade de textura, arranjo textural, grau de estruturação e ordem de estruturação dos elementos, conforme Soares & Fiori (1976);
- Avaliação de homogeneidade. Objetiva identificar possíveis heterogeneidades internas nas unidades, que determinem sua subdivisão.

Para individualização dos polígonos das UBCs, optou-se por utilizar o modelo digital de elevação (DEM - *Digital Elevation Model*). Este é um modelo de elevação digital, com alta resolução (5m), de representação da superfície de um terreno criado a partir dos dados de sua elevação. É dado por uma matriz de *pixels* com coordenadas planimétricas (x, y) e um valor de intensidade do *pixel*, que corresponde à elevação. O DEM representa a superfície nua, sem quaisquer objetos, como plantas e edifícios. Entre os sensores remotos orbitais ópticos de média e alta resolução espacial que possuem capacidade de gerar DEMs destacam-se: ASTER, SPOT-5/HRS, IKONOS-2 e QuickBird, segundo Toutin & Gray (2000).

Como produto final desta fase, foi gerado o mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), que encontra-se sobreposto ao DEM no Anexo I.

6.1.2) Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra (UHCTs)

A identificação das UHCTs implica na setorização ou parcelamento do espaço em áreas com características uniformes quanto a determinados aspectos de uso e ocupação. Tais unidades figuram como as menores unidades geográficas de análise e sua obtenção inclui a obtenção e delimitação de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto.

Por meio da variação de materiais e formas (concreto, asfalto, telha, vegetação) presente nas cidades é possível definir diferentes arranjos e configurações espaciais, que podem ser individualizados em unidades homogêneas a partir do uso de imagens de satélite. Os polígonos das UHCTs foram gerados automaticamente pelo software SPRING a partir da imagem IKONOS com resolução de 5m. Foram obtidos basicamente pelos elementos tonais e subdivididos em cinco classes: vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo exposto, corpo d'água e urbano.

A classificação do mapa de uso e ocupação do solo compreendeu as etapas de segmentação e treinamento, como descritas a seguir.

A segmentação é uma classificação estatística que analisa os atributos espectrais de cada *pixel*. Neste processo, a imagem é dividida em regiões, ou seja, em um conjunto de *pixels* contíguos, que se espalham bidirecionalmente e apresentam uniformidade. O treinamento é o passo seguinte e antecede o processo de classificação. Treinamento é o reconhecimento da assinatura espectral das classes, ou seja, consiste na identificação de áreas geradas na segmentação que representam cada classe na imagem. Para a obtenção de resultados estatisticamente confiáveis, recomenda-se que sejam adquiridas várias áreas de treinamento para cada classe criada. A classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. No presente trabalho, utilizou-se o classificador por regiões, que utiliza informação espacial que envolve a relação entre os *pixels* e seus vizinhos. A medida de distância de *Battacharya* foi usada neste classificador para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, medir a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Como resultado final de um processo de classificação obtém-se uma imagem digital que constitui um mapa de *pixels* classificados, representados por símbolos gráficos ou cores. No caso, um mapa de uso e cobertura da terra (UHCT) – Anexo I.

Na classificação, foram definidas cinco classes: corpo d'água, solo exposto, vegetação rasteira, urbano e vegetação arbórea, cujos valores absolutos e relativos das áreas estão listados na Tabela 6. Para correção de eventuais erros de classificação, foram realizados ajustes manuais, onde determinadas regiões foram editadas ou reassociadas à novas classes, conforme a pertinência temática.

Classe	Área – valor absoluto (km²)	Área – valor relativo (%)
corpo d'água	10,9	2,7
solo exposto	14,1	3,5
vegetação rasteira	106,1	26,0
urbano	121,9	29,9
vegetação arbórea	155,3	38,0
TOTAL	408,3	100

Tabela 6 – Classificação do mapa de unidades homogêneas de uso e cobertura da terra (UHCTs) com suas respectivas áreas em valores absolutos (km²) e relativos (%).

6.1.3) Unidades Territoriais Básicas (UTB)

As Unidades Territoriais Básicas (UTBs) foram obtidas pela intersecção dos planos de informação das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) e das Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra (UHCTs). Ou seja, pela sobreposição dos polígonos das UBCs e os polígonos das UHCTs a partir de processamento digital, resultando em nova malha de polígonos que representam as UTBs. A atribuição de todos parâmetros e os cálculos realizados tiveram como base as unidades obtidas, 8.657 no total, a partir deste cruzamento.

As UTBs exprimem o conceito geográfico de zonalidade através de atributos ambientais que permitem diferenciá-la de outras unidades vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais, como afirmam Lucena (1998) e MMA (2006).

Como produto final desta fase, foi gerado o mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs) – Anexo I.

6.1.3.1) Elaboração de roteiro dos procedimentos no SIG

A fim de consolidar e registrar os procedimentos realizados no software SPRING, para geração das unidades de análise, foi elaborado um roteiro (ANEXO III - Roteiro) com recortes de tela mostrando os principais passos executados na elaboração dos mapas de UBC, UHCT e UTB. O roteiro foi confeccionado de modo que sirva de guia para futuros usuários.

6.2) Associação dos atributos

Como citado anteriormente, a escolha dos atributos, ou indicadores, baseou-se nas características ou propriedades do terreno relevantes para as análises de escorregamento e inundação. Foram selecionados 7 atributos referentes ao meio físico e social cujos valores correspondentes foram agregados às unidades de análise (UTBs).

Os atributos declividade, amplitude, densidade de lineamento, densidade de drenagem e excedente hídrico tiveram seus valores gerados a partir de grades numéricas geradas pelo SPRING. Esses valores foram normalizados para o intervalo de 0 a 1, onde 0 significa nenhuma influência e 1 máxima influência. No caso das unidades geológicas e do potencial de indução os valores do intervalo foram atribuídos diretamente.

6.2.1) Declividade

Segundo Tominaga *et al.* (2009), a declividade tem importante influência na intensidade de processos erosionais. O aumento da declividade de uma vertente está diretamente associado ao aumento da velocidade e volume do escoamento superficial, pois quanto maior o

ângulo de inclinação, maior a componente vertical da gravidade e, como consequência, há um aumento da capacidade erosiva, que passa a retirar do solo partículas e materiais mais grosseiros que argila e silte. A declividade foi obtida diretamente a partir de grade numérica gerada pela interpolação das curvas de nível 1:50.000.

6.2.2) Amplitude

A amplitude, traduzida pela diferença entre a maior e a menor cota dentro de uma determinada área, expressa a quantidade de material da encosta podendo, por sua vez, ser mobilizado. Foi obtida a partir de grade numérica gerada pela interpolação das curvas de nível 1:50.000.

6.2.3) Densidade de lineamento

O traçado dos lineamentos foi obtido a partir da interpretação do Modelo Digital de Terreno (DEM). Os lineamentos foram considerados como sendo feições lineares de uma superfície cujas partes encontram-se alinhadas de forma retilínea ou ligeiramente curva, que diferem das feições adjacentes e refletem provavelmente estruturas de subsuperfície, de acordo com O'Leary *et al.* (1976).

O fator densidade de lineamento foi adotado com a premissa de que a análise dos padrões de fraturas permite determinar planos de descontinuidades, que são locais onde ocorrem intensa infiltração e circulação das águas e, portanto, são locais propícios a intensa intemperização das rochas e conseqüentes movimentos de massa e processos erosivos.

A quantificação das unidades de análise foi obtida a partir de grade numérica gerada pela interpolação de plano de informação de lineamentos.

6.2.4) Densidade de drenagem

A densidade de drenagem expressa a permeabilidade e o grau de fraturamento do terreno, de modo que o aumento da densidade de drenagem terá relação com a presença de argila no solo e com uma maior fragilidade em termos de fraturamento. Os valores foram obtidos a partir de grade numérica gerada pela interpolação da rede de drenagem 1:50.000.

6.2.5) Excedente hídrico

O atributo excedente hídrico é resultado da subtração entre a entrada de água (chuva) e seu consumo (evapotranspiração). Segundo Armani *et al.* (2007), corresponde à água que sobra no ambiente e que pode ser utilizada pela sociedade, plantas, para o intemperismo químico e físico das rochas, para dar origem aos processos geomorfológicos nas áreas tropicais úmidas, para alimentar os rios e os aquíferos e etc. Tominaga (2007) afirma que uma maior

disponibilidade de água no solo pode levar à sua saturação, favorecendo instabilizações nas vertentes de declividade mais elevada ou em taludes de corte. Os valores foram obtidos a partir de grade numérica gerada pela interpolação de dados pluviométricos.

6.2.6) Unidades geológicas

Segundo Anbalagan (1992), as litologias podem ser classificadas segundo suas respostas aos processos de intemperismo e erosão. O autor diferencia rochas mais maciças e resistentes à erosão como as ígneas e os quartzitos das rochas sedimentares, xistos e filitos, mais vulneráveis a instabilidade e ocorrência de deslizamentos de terra. A partir de conceitos gerais, diferentes tipos de rochas foram listados e valores foram atribuídos segundo seu grau de influência no desencadeamento de processos. A estas unidades geológicas atribui-se notas variando de 0 a 1, onde 0 (zero) indica influência nula e 1 (um) influência máxima na indução de processos de escorregamento.

Esse atributo não foi utilizado no cálculo da inundação, pois se considerou que a geologia das planícies de inundação estão, na maioria dos casos, associadas com depósitos quaternários, sendo esse um fator constante de influência dentro da classificação.

Unidades geológicas	Escorregamento
argila, areia e cascalho inconsolidado (Qa)	0,9
argila, areia e cascalho consolidados (TQa)	0,9
micaxisto (p€Amx)	0,7
migmatito/gnaisse granítico (p€Amg)	0,5
granito/granodiorito (p€Aagg)	0,3
anfíbólito/metabásito (p€Aam)	0,1

Tabela 7 – Unidades geológicas (com a simbologia utilizada no Mapa Geológico – Figura 8) com seus valores atribuídos ao cálculo da variável perigo a escorregamento.

6.2.7) Potencial de indução

O potencial de indução do uso e cobertura da terra representa o grau de influência dos diferentes padrões de ocupação. A divisão da área em 5 classes (corpo d'água, solo exposto, vegetação rasteira, vegetação arbórea e urbano) baseou-se no fato de que as características de ocupação podem interferir ou induzir a ocorrência de processos de escorregamento ou inundação.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) destacam os principais efeitos da cobertura vegetal na proteção do solo: a) proteção do solo contra o impacto das gotas da chuva; b) dispersão e

interceptação das gotas d'água antes que esta atinja o solo; c) ação das raízes das plantas, formando poros e canais que aumentam a infiltração da água; d) ação da matéria orgânica que incorpora ao solo maior capacidade de retenção de água; e) a diminuição da energia do escoamento superficial devido ao atrito na superfície. Donati & Turrini (2002) acrescentam ainda que a vegetação tem o papel de diminuir a pressão neutra no solo.

Tominaga *et al.* (2009) afirmam que num terreno descoberto, o impacto das gotas faz as partículas dos solos se desprenderem e terem seu transporte facilitado pelo escoamento superficial, agravando a erosão.

A estas unidades atribui-se notas variando de 0 a 1, onde 0 (zero) indica influência nula e 1 (um) influência máxima na indução de processos de escorregamento e inundação, conforme Tabela 8.

Classe de uso da terra	Escorregamento	Inundação
corpo d'água	0,125	0,875
solo exposto	0,625	0,625
vegetação rasteira	0,125	0,375
urbano	0,875	0,875
vegetação arbórea	0,375	0,125

Tabela 8 – Classe do potencial de indução de uso e cobertura da terra com seus valores atribuídos ao cálculo da variável perigo a escorregamento e inundação.

6.3) Modelagem e geração de mapas temáticos de perigo a inundação e escorregamento na escala 1:50.000

A modelagem consistiu na definição das fórmulas e os pesos atribuídos a cada fator selecionado no processo em análise. Foi modelada a variável perigo a escorregamento e perigo a inundação como se segue.

6.3.1) Variável perigo a escorregamento

O cálculo do índice de perigo a escorregamento (P_E) seguiu os seguintes passos:

a) Aplicação da fórmula:

$$P_E = 0,25 (DE) + 0,25 (PI) + 0,1 (DL) + 0,1 (DD) + 0,1 (EH) + 0,1 (AM) + 0,1 (UG)$$

[Equação 1],

onde P_E = perigo a escorregamento; DE = declividade; PI = potencial de indução; DL = densidade de lineamentos; DD = densidade de drenagem; EH = excedente hídrico; AM = amplitude; UG = unidade geológica.

b) Distribuição dos resultados obtidos pela Equação 1 em cinco classes, pelo método de intervalos iguais: P_{E0} (muito baixo ou nulo), P_{E1} (baixo), P_{E2} (médio), P_{E3} (alto) e P_{E4} (muito alto).

c) Reclassificação dos resultados obtidos pela Equação 1 com declividade (DE) < 3° para a classe P_{E0} (muito baixa ou nula).

d) Reclassificação dos resultados obtidos pela Equação 1 com declividade (DE) > 25° para a classe P_{E4} (muito alto).

Índices de perigo	Classes de perigo
0	P_{E0} (muito baixo ou nulo)
0,18891793-0,20704677	P_{E1} (baixo)
0,22281986-0,32524416	P_{E2} (médio)
0,32788609-0,35247998	P_{E3} (alto)
0,44387497-0,47075671	P_{E4} (muito alto)

Tabela 9 – Classificação do perigo a escorregamento segundo os índices calculados pela Equação 1.

6.3.2) Variável perigo a inundação

O cálculo do índice de perigo a inundação (P_i) seguiu os seguintes passos:

a) Aplicação da fórmula:

$$P_i = 0,3 (1 - DE) + 0,3 (PI) + 0,2 (DD) + 0,2 (EH) \text{ [Equação 2]},$$

onde P_i = perigo a inundação; DE = declividade; PI = potencial de indução; DD = densidade de drenagem; EH = excedente hídrico.

b) Distribuição dos resultados obtidos pela Equação 2 em cinco classes, pelo método de intervalos iguais: P_{i0} (muito baixa ou nula), P_{i1} (baixa), P_{i2} (média), P_{i3} (alta) e P_{i4} (muito alta).

c) Reclassificação dos resultados obtidos pela Equação 2 com declividade (DE) > 3° para a classe P_{E0} (muito baixa ou nula).

Índices de perigo	Classes de perigo
0	P ₁₀ (muito baixo ou nulo)
0,41250000-0,51288196	P ₁₁ (baixo)
0,51302503-0,61321168	P ₁₂ (médio)
0,61339150-0,71376648	P ₁₃ (alto)
0,71388398-0,81427813	P ₁₄ (muito alto)

Tabela 10 - Classificação do perigo a inundação segundo os índices calculados pela Equação 2.

Os valores da variável perigo foram normalizados para o intervalo de 0 a 1 para o cálculo dos índices de perigo a escorregamento e inundação respeitando-se os enquadramentos nas classes obtidas anteriormente por meio da Equação 3.

$$P_{\text{CLASSE}} = (V_N - V_{\text{MIN}}) / (V_{\text{MAX}} - V_{\text{MIN}}) \text{ [Equação 3]},$$

onde V_N = valor normalizado; V_{MIN} = valor mínimo do fator; V_{MAX} = valor máximo do fator.

6.4) Atividades de campo

A seleção dos pontos de campo foi realizada com base nos mapas de perigo a escorregamento e inundação obtidos na escala 1:50.000. O objetivo foi checar a classificação gerada, dando prioridade para as áreas que ofereciam perigo alto (P3) e muito alto (P4).

A atividade de campo foi realizada no dia 02 de novembro de 2011 e foi viabilizada devido ao apoio do Instituto Geológico (IG-SMA), com o oferecimento de transporte, motorista, câmera fotográfica, bússola Clar e GPS. Como material de apoio utilizaram-se os mapas geológico, de drenagem e imagens de satélite.

A localização dos pontos visitados encontra-se no *Anexo I - Mapas*, junto aos Mapas de Perigo a Escorregamento e Inundação e a documentação fotográfica no *Anexo II - Fotos*.

a) Inundação

Foram visitadas 3 áreas classificadas pelo mapa de perigo a inundação como P3 (Pontos 1, 2 e 3) e 1 como P4 (Ponto 4), localizados nas cidades de Poá, Ferraz de Vasconcelos, Mauá, e Ribeirão Pires, respectivamente. No Ponto 13 também foram observadas evidências de inundação, porém, ele estava mais ligado a processos de escorregamento, como descrito no Item b a seguir.

Em praticamente todos os pontos foram verificadas evidências de inundação, tais como elevação do nível do piso, proteção nos portões e muros de contenção para impedir a entrada de água como podem ser observadas nas Fotos de 1 a 6.

b) Escorregamento

Foram visitadas 9 áreas classificadas pelo mapa de perigo a escorregamento como P3 e P4, localizadas nas cidades de Ferraz de Vasconcelos, Poá, Mauá e Ribeirão Pires.

b.1) Ferraz de Vasconcelos

No município de Ferraz de Vasconcelos foram visitadas 2 áreas, uma correspondente ao grau de perigo P4 e outra ao grau de perigo P3.

No Bairro do Cambiri, visitou-se o Ponto 5 classificado como P4. Tratava-se de um trecho urbano com acentuada declividade adjacente a uma porção de mata nativa. Como pôde ser registrado, as casas estavam bastante comprometidas, com presença de trincas nos muros e paredes (Fotos 9 e 10) e moradias próximas a taludes de corte com processos erosivos (Foto 7). Conforme relato de morador, ocorreram deslizamentos de terra em janeiro de 2011 (Foto 8) e o poder público estava solicitando a retirada das famílias.

No limite entre os municípios de Ferraz de Vasconcelos e Suzano, próxima à Estrada dos Fernandes, foi visitado o Ponto 13 classificado como P3. Apesar de não haver ocupação humana, apenas vegetação arbórea, o grau de perigo foi elevado em virtude da sua expressiva declividade (Fotos 11 e 12).

b.2) Poá

No município de Poá foram visitadas 3 áreas, das quais todas possuíam grau de perigo P3.

No Ponto 8 (Fotos 13 e 14), localizado no Jardim Áurea, predominavam processos associados a cortes em áreas de declividade acentuada, com presença de cicatriz de escorregamento e talude de corte e aterro com declividade e altura associados. No Ponto 7 (Foto 15), localizada no Jardim Madriângela, predominavam processos associados a cortes e aterros em áreas de declividade acentuada. Segundo IG (2006), esta região constitui uma das mais críticas a processos de escorregamento do Município de Poá, totalizando 79 moradias ameaçadas.

No Ponto 6, situado no Jardim Nova Poá, predominavam processos associados a cortes em áreas de declividade acentuada. Destacou-se a ocorrência de cicatriz de escorregamento em talude de corte, presença de feições de instabilidade (trincas) em moradias e muros de contenção em encostas (Foto 16).

b.3) Mauá

No município de Mauá foram visitadas 2 áreas (Pontos 9 e 10), que possuíam grau de perigo P4. Ambas estavam situadas no Jardim Zaíra, onde predominavam processos associados a cortes e aterros em áreas de declividade acentuada e presença de cicatriz de escorregamentos e instabilizações estruturais em muros de contenção (Fotos 17, 18, 19 e 20). Dos municípios visitados, Mauá apresentou o maior adensamento urbano, que combinado com o relevo acidentado resulta em áreas bastante instáveis para ocorrência de processos de escorregamento.

b.4) Ribeirão Pires

No município de Ribeirão Pires foram visitados os Pontos 11 e 12, correspondentes ao grau de perigo P3.

De forma semelhante ao município de Mauá, Ribeirão Pires também apresentou um relevo bastante acentuado, inclusive com ruas altamente íngremes. Entretanto, seu adensamento urbano é inferior. No Ponto 11 havia a presença de talude de corte com solo parcialmente ou totalmente exposto e com declividade acentuada (Fotos 21 e 22). No Ponto 12 foram observadas encostas e taludes de corte com acentuada inclinação (Foto 23), além de cicatriz de escorregamento com presença de lixo e entulho (Foto 24).

7) Resultados obtidos

Os Mapas de Perigo a Inundação e Escorregamento (Anexo I), gerados a partir da modelagem e cálculo das variáveis descritas no Item 6.3, permitem que sejam apresentadas algumas considerações.

No Mapa de Perigo a Inundação, as áreas que ofereciam algum tipo de perigo (exclui-se P0) estavam associadas às drenagens de médio a grande porte, assim como aos depósitos argilo-arenosos quaternários. Para obtenção de dados mais precisos foi realizada uma revisão da classificação, reavaliando, por exemplo, topos de morros que por serem aplainados foram classificados com elevado grau de perigo a inundação. Suzano apresentou a maior quantidade de regiões classificadas como P4, seguida por Ribeirão Pires. Ao norte da área de estudo, na faixa de várzea do Rio Tietê, encontrou-se uma extensa área definida com médio a alto grau de perigo.

No Mapa de Perigo a Escorregamento, os municípios de Mauá e Ribeirão Pires concentraram a maior quantidade de áreas com perigo muito alto. No caso de Mauá, mais especificamente no Jardim Zaíra, foram encontrados os maiores aglomerados de P4. Esta é uma área com acentuada declividade, predomínio de micaxistos e do urbano, fatores que combinados aumentam a probabilidade de ocorrência de processos de escorregamento, como

discutido no Item 6.2. Estas características se repetem para uma das poucas áreas de Ferraz de Vasconcelos classificada como P4, que se mostrou bastante crítica quando visitada no trabalho de campo (Ponto 5). No caso de Ribeirão Pires, as características são semelhantes quanto a ocupação e declividade para áreas de perigo muito alto, porém, além do micaxisto também ocorrem rochas graníticas.

Com a plotagem dos pontos de escorregamento associados aos cadastros de eventos observou-se que eles estavam localizados predominantemente nas áreas definidas pelo mapa de perigo como P3 e P4. Para melhor visualização, no Anexo I encontra-se o mapa de perigo a escorregamento apenas com os graus alto e muito alto e os pontos plotados. Nota-se que existe uma correlação bastante eficiente, inclusive abrangendo áreas com P4s isolados, como nas áreas em destaque no mapa.

8) Discussão

Os resultados obtidos com a metodologia aplicada permitem algumas considerações sobre a abordagem, as unidades básicas de análise, a escala, os atributos e o trabalho de campo e os mapas de perigo obtidos.

A abordagem fisiográfica mostrou-se adequada para o interesse do estudo. Ela permitiu uma análise conjunta de elementos morfo-ambientais do terreno por meio de fotointerpretação, delimitando áreas que se distinguem das adjacentes. O modelo digital de elevação (DEM) permitiu que essa análise fosse realizada com uma alta resolução e sem a interferência da cobertura urbana ou vegetal, dando um resultado mais pormenorizado das unidades básicas de compartimentação (UBCs).

A respeito do uso e ocupação do solo, notou-se que, apesar da vegetação arbórea predominar nas áreas mais elevadas, toda a região encontra-se fortemente urbanizada, com destaque para as cidades de Poá, Ferraz de Vasconcelos e Mauá. Pequenos corpos d'água estão distribuídos por toda área de estudo, entretanto, são mais representativos junto às represas. A vegetação rasteira inclui principalmente terras agricultáveis, áreas de várzea, entorno de matas ou pontos isolados inseridos no meio urbano. O solo exposto ocorre associado à vegetação rasteira e destaca-se também nas terras agricultáveis, aterros e áreas de mineração.

A escala regional (1:50.000) mostrou-se adequada principalmente em virtude da larga disponibilidade de dados, além de poder ser utilizada com o fim de planejamento de ocupação, indicando o que pode ser realizado em cada área, orientando as prioridades de investimentos e os instrumentos urbanísticos que devem ser implementados.

A respeito dos atributos elencados como condicionantes de processos de escorregamento e inundação observou-se que, para ambos, a declividade e o potencial de

indução do uso e ocupação do solo tiveram maior influência. Inclusive, com a declividade superando os outros atributos quando era muito expressiva, como no caso da Área 13, que apesar de não ter o urbano como cobertura foi classificada como P3.

O trabalho de campo foi uma etapa essencial na conclusão do trabalho. Através dele foi possível conferir a eficácia de todo o processo de elaboração dos mapas e verificar sua viabilidade na definição de áreas para mapeamento de detalhe e sua relação com o cadastro de eventos.

Como observado na descrição das áreas visitadas, foi dada uma maior atenção àquelas com graus elevados de perigo a escorregamento. A justificativa deveu-se ao número amplamente maior de áreas com grau de perigo alto/muito alto indicado pelo mapa de escorregamento em comparação com o de inundação.

9) Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho de formatura permitiu a elaboração de um levantamento das áreas de perigo associado a escorregamento e inundação em área localizada na Região Metropolitana de São Paulo.

Os mapas gerados mostraram-se ferramentas satisfatoriamente úteis na definição de áreas-alvo para mapeamentos de detalhe, viabilizados pela simplicidade de execução e trabalhos exclusivamente de escritório, conferindo-lhe um baixo custo.

As visitas de campo e o cadastro de evento consultado tiveram uma correlação direta com as áreas obtidas pelo mapeamento, na escala 1:50.000, que ofereciam alto ou muito alto perigo (P3 e P4). Outra vantagem é a possibilidade de aplicar um método homogêneo em uma área extensa.

Apesar do grande número de ocorrência de acidentes associados a escorregamentos e inundação nos municípios verificados, inclusive com casos de repercussão nacional, como Mauá, ainda existe uma grande carência de estudos e pesquisas na região. Isso foi notado ao longo de todo levantamento bibliográfico. Por outro lado, não se pode negar que houve um incremento substancial de estudos desenvolvidos por universidade e estudos de pesquisa, porém, o número de municípios que adotam a gestão de risco em seus planos de desenvolvimento urbano ainda é muito reduzido.

10) Referências bibliográficas

- Ab'Saber A.N. & Bernardes N. 1958. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. *In: Congresso Internacional de Geografia, Guia de Excursões*. Rio de Janeiro, 4.
- Alcântara-Ayala I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* **47**:107-124.
- Almeida F.F.M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *In: Geologia do Estado de São Paulo. Boletim IGG*, **41**:169-263.
- Anbalagan R. 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.*, **32**:269-277.
- Armani G., Tavares R. Brigatti N. 2007. Climatologia. *In: Ferreira C. J. [coord]. Diretrizes para a regeneração socioambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba, SP. Relatório Técnico, FAPESP. p.: 119-142.
- Augusto Filho O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 1, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, v.2, p.: 721-733.
- Bertoni J., Lombardi Neto F. 1990. Conservação do solo. São Paulo: Ícone. 355 p.
- BRASIL 2004. Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações. Ministério das Cidades: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Apostila de treinamento, 73 p.
- Cerri L.E.S. 1993. Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 197 p.
- Cunha A.M. 1991. Ocupação de encostas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Publicação IPT, São Paulo, 216 p.
- DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL & CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 1991. Projeto Integração Geológica da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, DNPM/CPRM, 65 p. e 28 mapas.
- Donati L. & Turrini M. C. 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology* **63**, p.: 277-289.
- Einstein H.H. 1988. *Landslides risk assessment procedure*. *In: International Symposium on Landslides*, 4, Lausanne, 1987. Proceedings....Lausanne, Switzerland, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands, v.2, p.: 1075-1090.
- EMPLASA - EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. 1984. Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo, Escala 1:50.000. Folha 43.
- Ferreira C.J. & Rossini-Penteado D. 2011. Mapeamento de risco a escorregamento e inundação por meio da abordagem quantitativa da paisagem em escala regional. *In: Submetido ao 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*.

Guidicini G. & Nieble C.M. 1984. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. Edgard Blücher, São Paulo, 194 p.

Hasui, Y. & Carneiro, C.D.R. 1980. Origem e evolução da Bacia de São Paulo. *In: Mesa Redonda: Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo*. Publicação Especial. São Paulo, ABGE/SBG. p.: 47-52.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 2006. Mapeamento de áreas de riscos associados a escorregamentos e inundações no município de Poá (Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 28/04/2006). São Paulo. Relatório Técnico. 38 p.

Kobiyama M., Mendonça M., Moreno D.A., Marcelino I.P.V.O., Marcelino E.V., Gonçalves E.F., Brazetti L.L.P., Goerl R.F., Moller G.S.F., Rudorff F.M. 2006. *Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos*. Ed. Organic Trading, Curitiba, 109 pp. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>. Acesso em 15 mar 2011.

Lucena I.S. 1998. Projeto de interfaces para álgebra de mapas em geoprocessamento no ambiente SPRING. São José dos Campos. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 126 p.

Marcelino E.V. 2008. *Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos*. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. 2007. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 176 p.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2006. Diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 3ª edição revisada, 132 p.

Moura C. A. & Mattos J. T. 2011. Análise de fraturamentos para determinação de áreas instáveis na faixa de dutos Osvat/Osplan - São Sebastião/SP. 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 10 p.

O'leary D. W., Friedman J. D., Pohn H. A. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new Standards for old terms. *Geol. Soc. of Am. Bul.*, n. 87, p.: 1463-1469.

Rodriguez S.K. 1998. Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 171 p.

Ross J.L.S. & Moroz I.C. 1997. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 63 p.

Soares P.C. & Fiori A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, **32**(6):71-104.

Suguió K., Coimbra A.M., Catto A.J. 1972. Estudo comparativo dos sedimentos e das rochas cristalinas circundantes da Bacia de São Paulo (granulometria e minerais pesados). *In: Congresso Brasileiro de Geologia. Anais...* Belém, SBG. **26**:141-153.

Tobin G.A. & Montz B.E. 1997. *Natural hazards: explanation and integration*. The Guilford Press, New York, 388 p.

Tominaga L. K. 2007. Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 220 p.

Tominaga L.K., Santoro J., Amaral R. 2009. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, São Paulo, 196 p.

Toutin T. & Gray A.L. 2000. *State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data*. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **55**(1):13-33.

UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. 2009. Estratégia Internacional para Redução de Desastres, da Organização das Nações Unidas. Disponível em <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminologyeng.htm>. 2009. Acesso em 15 out 2011.

Varnes D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris. 56 p.

Vedovello R. 1993. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 88 p.

Vedovello R. 2000. Zoneamentos Geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBC's. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 154 p.

Vedovello R. & Mattos J.T. 1991. Zoneamento Geotécnico de múltiplo uso do município de Ubatuba - SP: uma abordagem através de sensoriamento remoto. In: Encontro Nacional de Sensoriamento Remoto aplicado ao Planejamento Municipal, 2, Serra Negra. *Anais*, INPE, 1v, p.: 103-107.

Vedovello R. & Mattos J.T. 1998. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: ABGE, Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Florianópolis, 3, *Anais*, CD-ROM, 6 p.

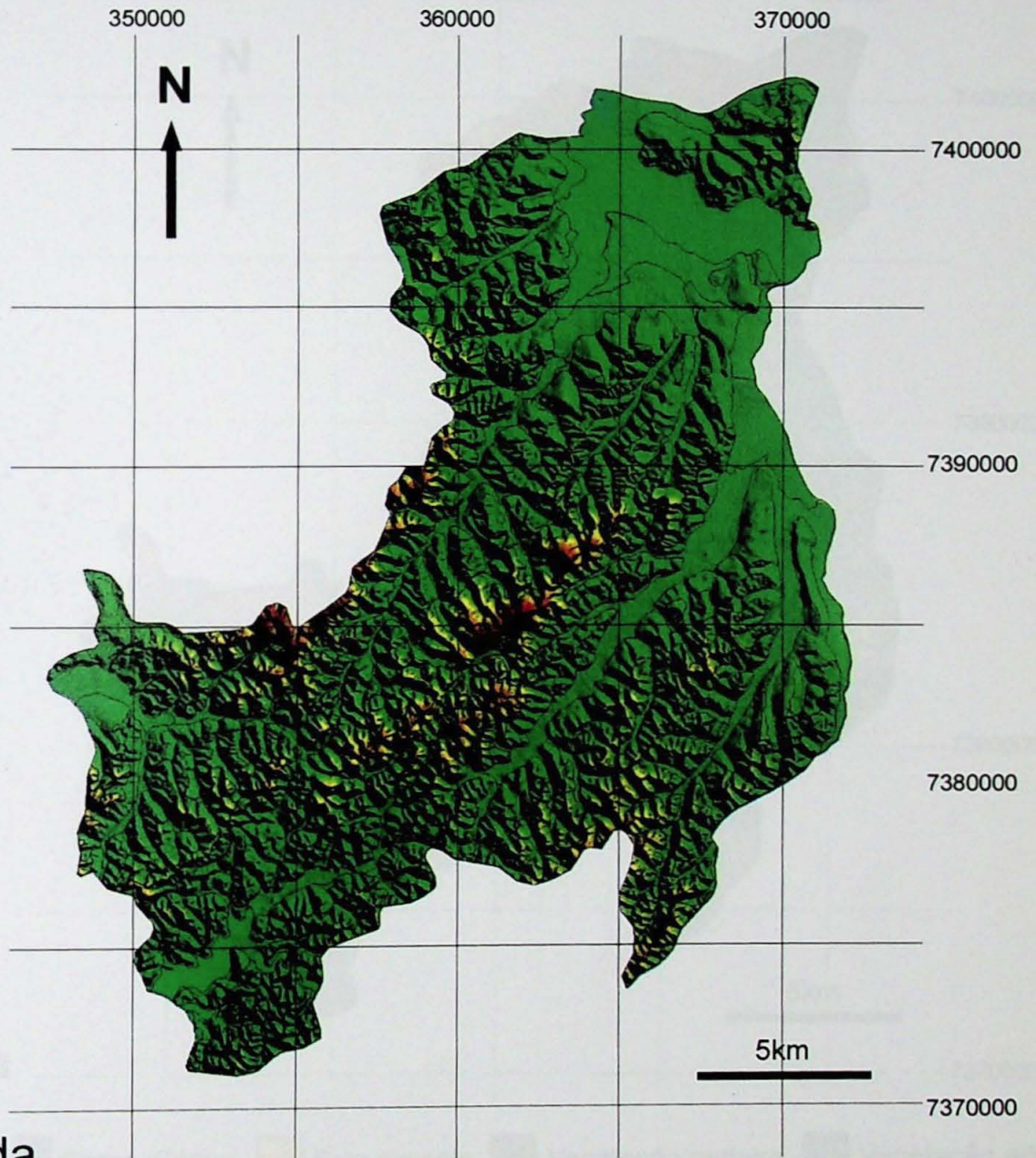
Mapa das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)
(recompilado do Modelo Digital de Elevação - DEM)

ANEXO I MAPAS

Legenda

- Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)
- Linhas dos municípios

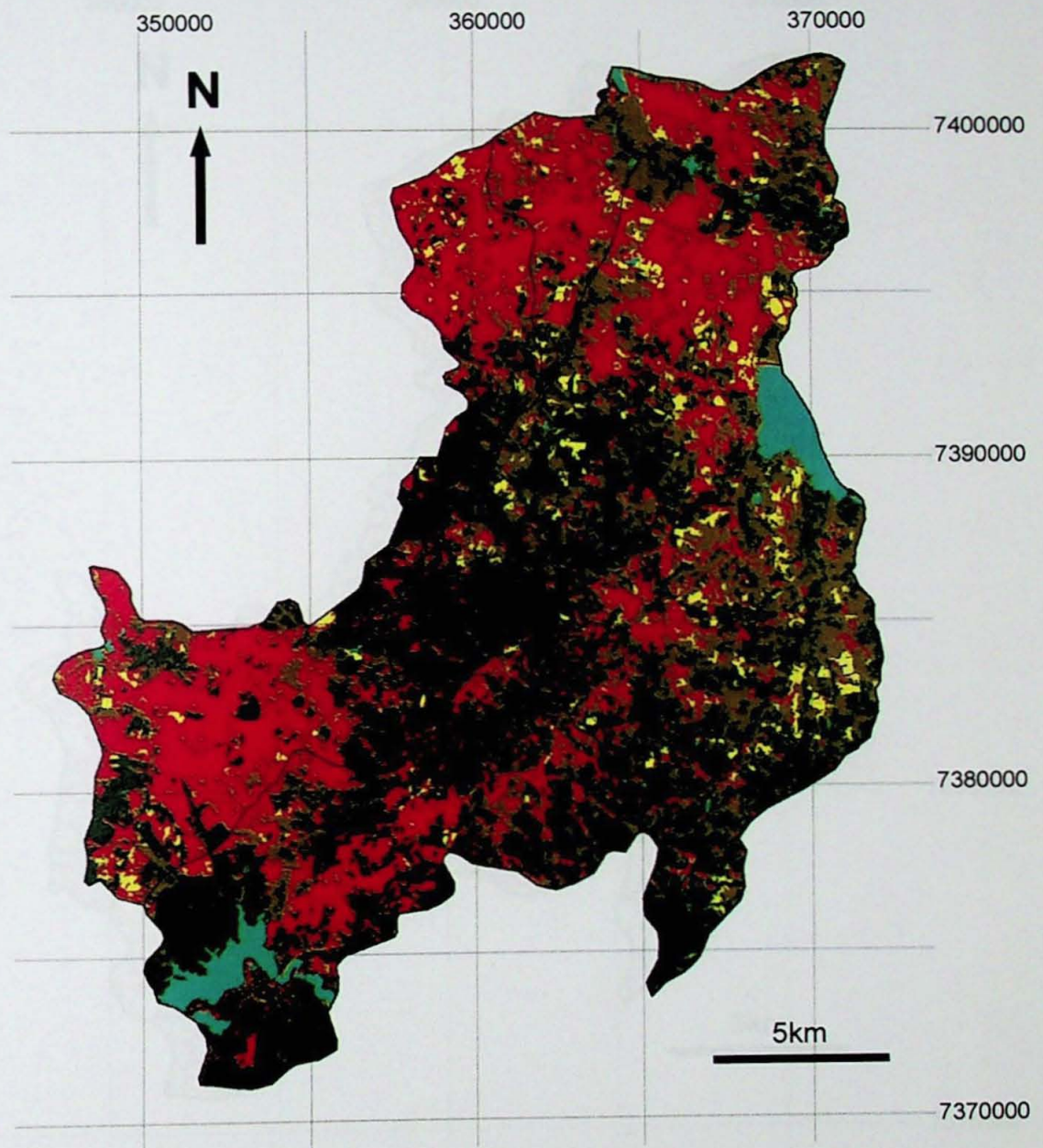
Mapa das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) (sobreposta ao Modelo Digital de Elevação - DEM)



Legenda

- Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)
- Limite dos municípios

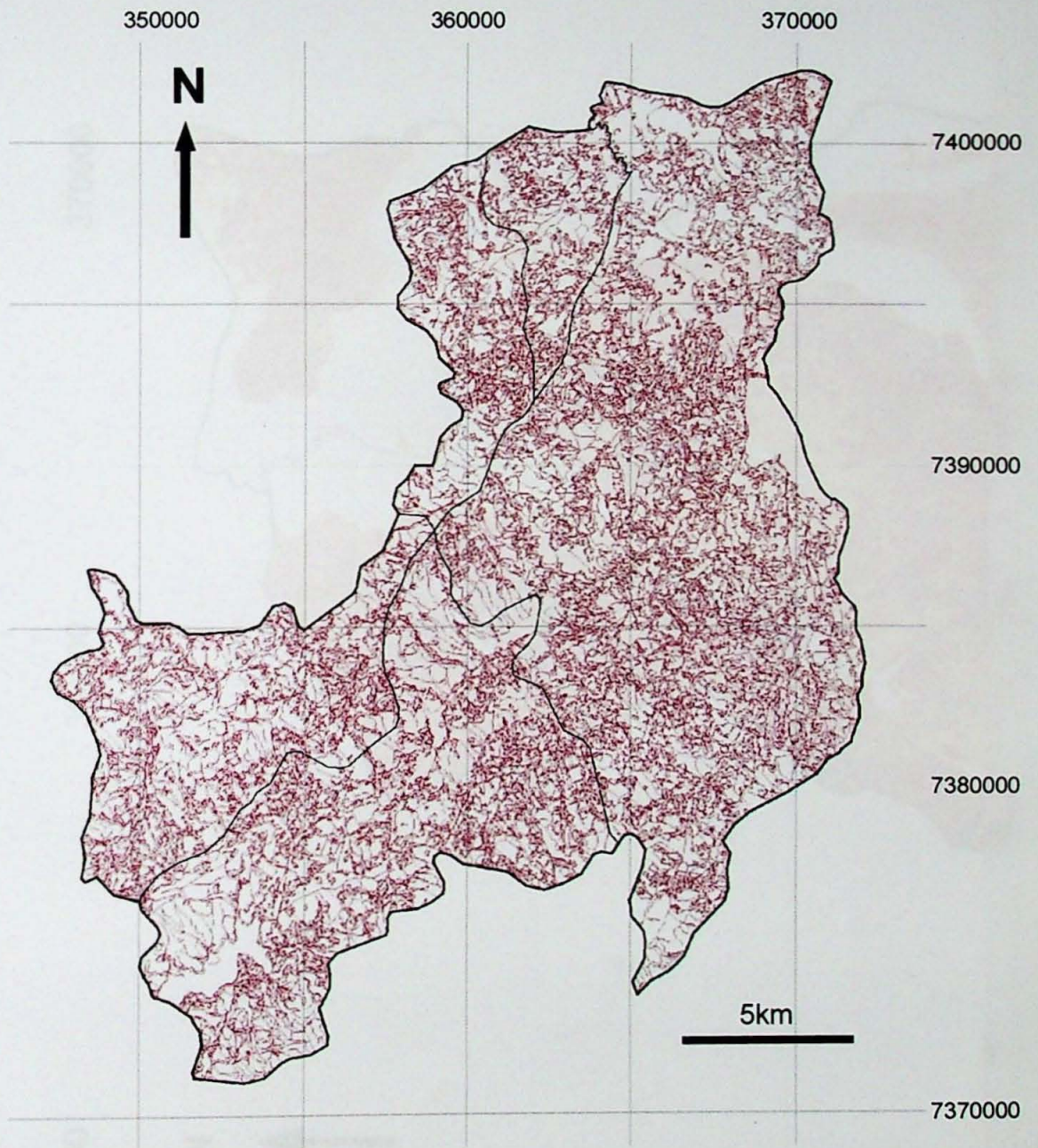
Mapa das Unidades Homogêneas de Uso e Ocupação da Terra (UHCTs)



Legenda

- Urbano
- Corpo d'água
- Solo exposto
- Vegetação rasteira
- Vegetação arbórea
- Limite dos municípios

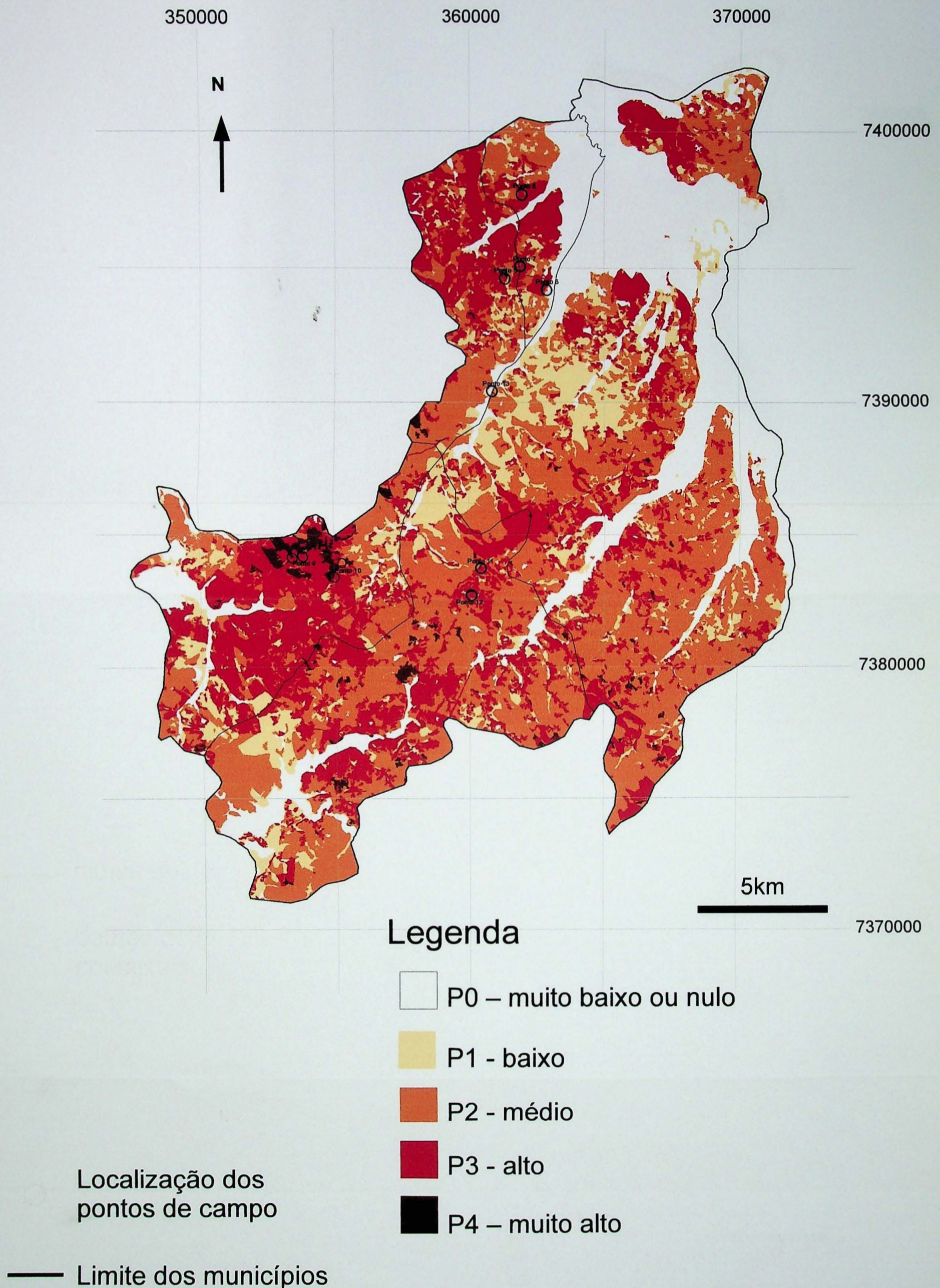
Mapa das Unidades Territoriais Básicas (UTBs)



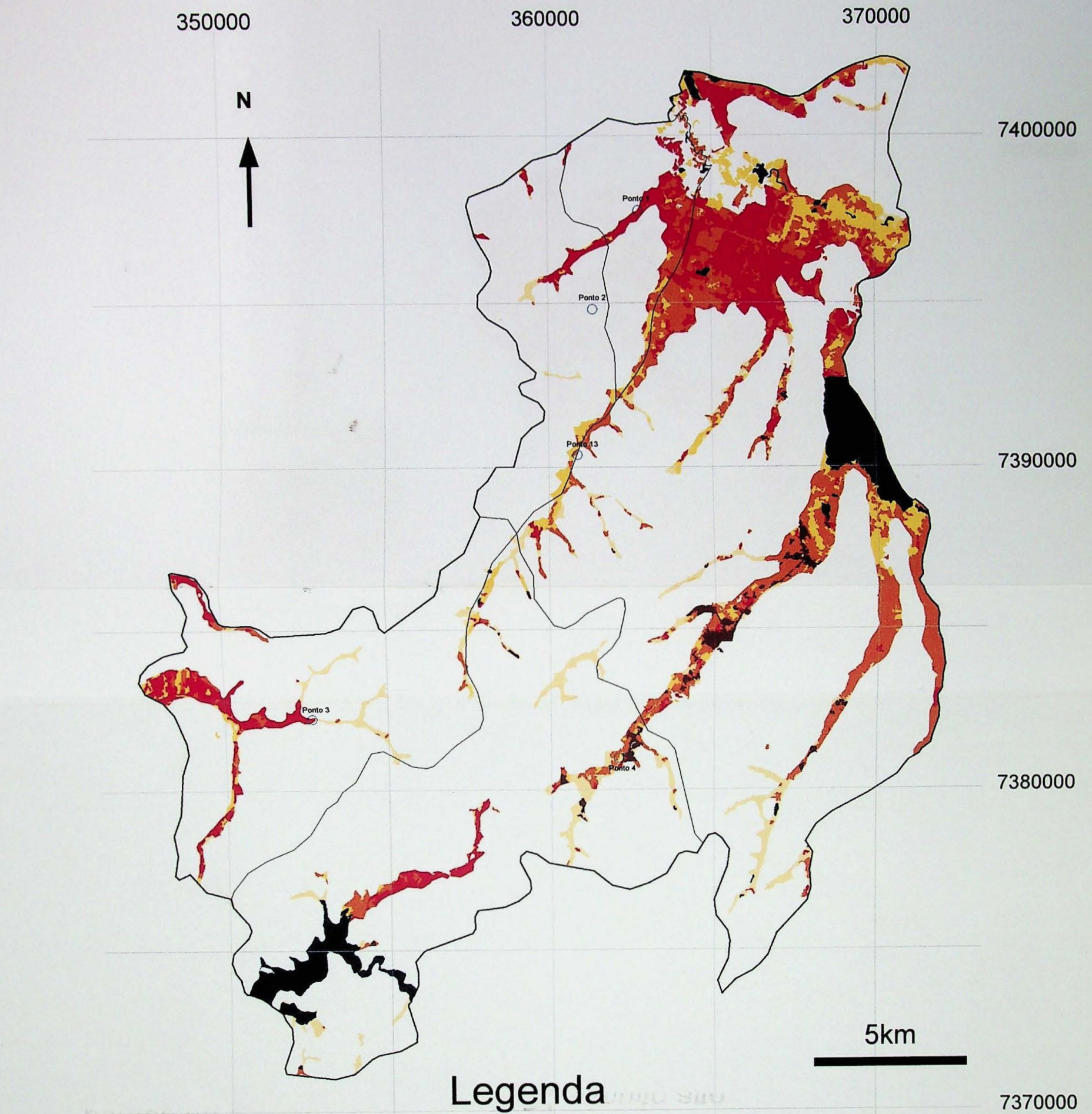
Legenda

- Unidades Territoriais Básicas (UTBs)
- Limite dos municípios


MAPA DE PERIGO A ESCORREGAMENTO





MAPA DE PERIGO A INUNDAÇÃO





Legenda


 P0 – muito baixo ou nulo


 P1 - baixo

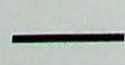
 P2 - médio

 P3 - alto

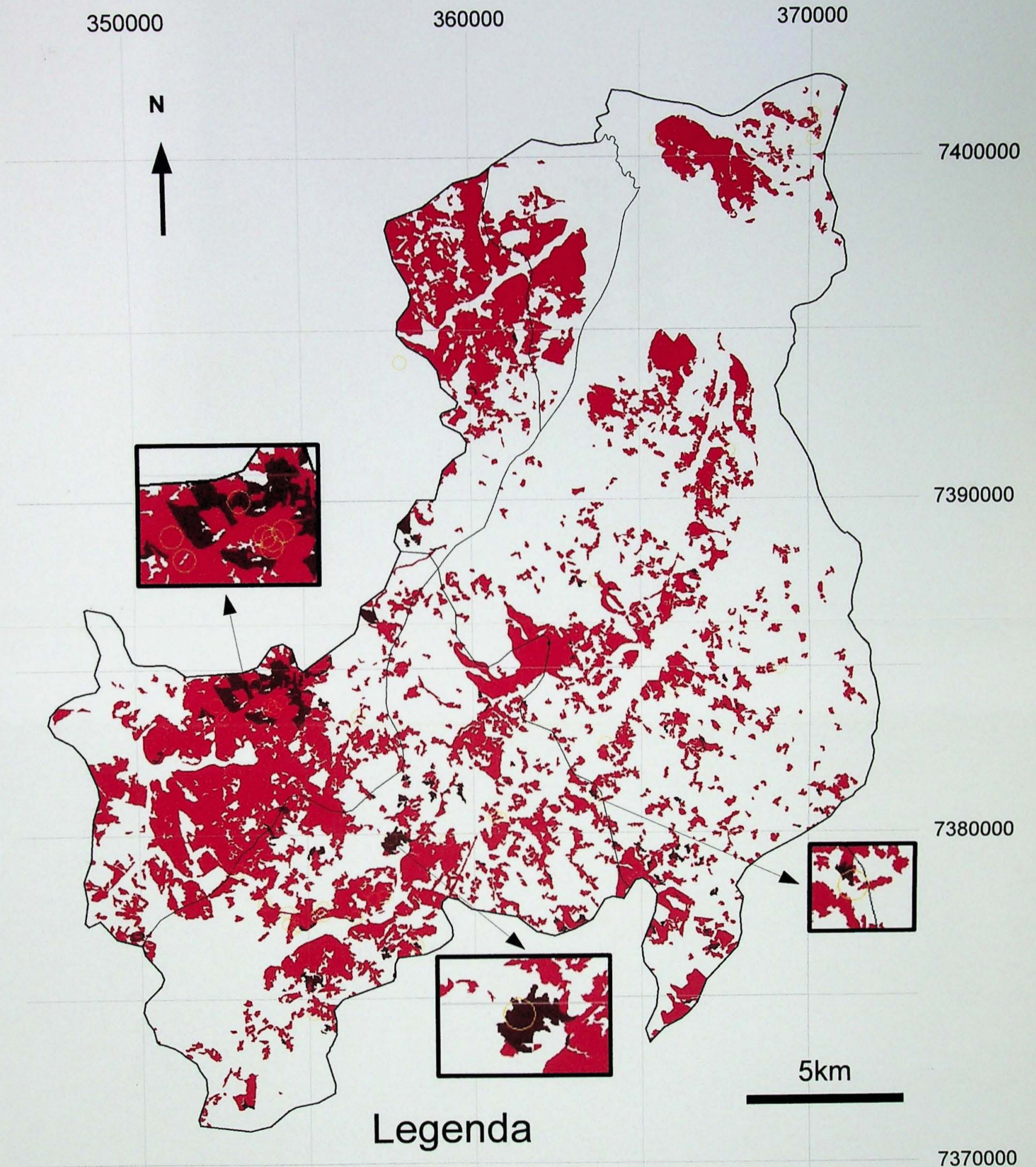
 P4 – muito alto

 Corpo d'água


 Localização dos pontos de campo


 Limite dos municípios


LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DO CADASTRO DE EVENTOS/ CORRELAÇÃO COM P3 E P4 (ESCORREGAMENTO)

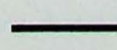


Legenda

 P3 - alto

 P4 – muito alto

 Localização dos pontos do cadastro de eventos

 Limite dos municípios

ANEXO II

FOTOS



Foto 1 (PONTO 3)- Vista geral de área de inundação com presença de lixo e entulho. Presença de muros de contenção nas margens. Mauá – P3. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 3 (PONTO 4) - Vista geral da área sujeita a inundação. Notar a entrada da tubulação da parte canalizada do córrego. Município: Ribeirão Pires (P3). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 5 (PONTO 1) - Parte do córrego próximo do trecho anterior, com trabalhadores construindo muro de contenção. Presença de lixo, erosão recente nas margens e assoreamento. Município: Poá (P3). Foto: Cláudio José Ferreira.

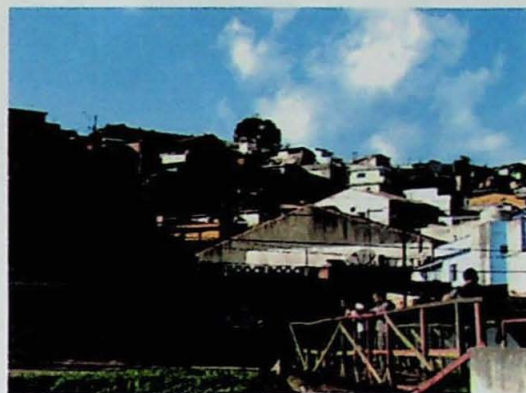


Foto 2 (PONTO 3)- Casas que são atingidas pela inundação com elevação de piso, muros na entrada e contenção nos portões para impedir a entrada da água. Mauá – P3. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 4 (PONTO 1) - Vista geral da área sujeita a inundação. Notar proximidade entre o fundo das casas e o córrego. Município: Poá (P3). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 6 (PONTO 2) - Área de inundação (descrição de moradores) no fundo do vale próximo a ocorrência de escorregamento. Município: Ferraz de Vasconcelos (P3). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 7 (PONTO 5) - Moradia encaixada em talude de corte com processos erosivos. Município: Ferraz de Vasconcelos (P4). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 8 (PONTO 5) - Vista para a área que, segundo um morador, sofreu processo de deslizamento de terra em janeiro/2011. Município: Ferraz de Vasconcelos (P4). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 9 (PONTO 5) - Detalhe, na parte inferior, de trinca no muro da moradia. Município: Ferraz de Vasconcelos (P4). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 10 (PONTO 5) - Detalhe, ao centro, de trinca na parede da moradia. Município: Ferraz de Vasconcelos (P4). Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 11 (PONTO 13) - Área com vegetação arbórea e excessiva declividade. Município: limite entre Ferraz de Vasconcelos e Suzano. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 12 (PONTO 13) - Detalhe da foto anterior. Notar cicatriz de escorregamento e declividade excessiva. Município: limite entre Ferraz de Vasconcelos e Suzano. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 13 (PONTO 8)– Vista geral da área. Município: Poá. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 14 (PONTO 8) – Vista parcial da figura anterior. Presença de cicatriz de escorregamento Município: Poá. Foto: Cláudio José Ferreira.

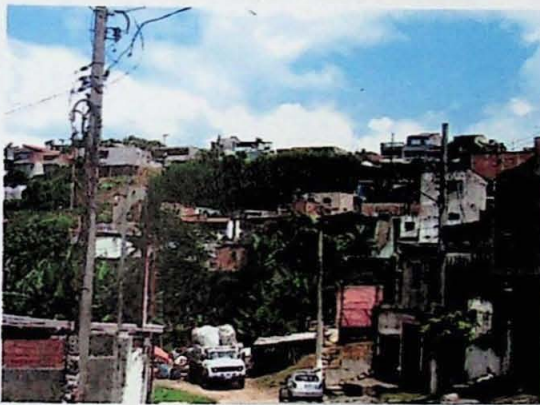


Foto 15 (PONTO 7) – Vista geral da encosta com moradias próximas de talude de corte com altura e declividade excessiva. Município: Poá. Foto: Cláudio José Ferreira.

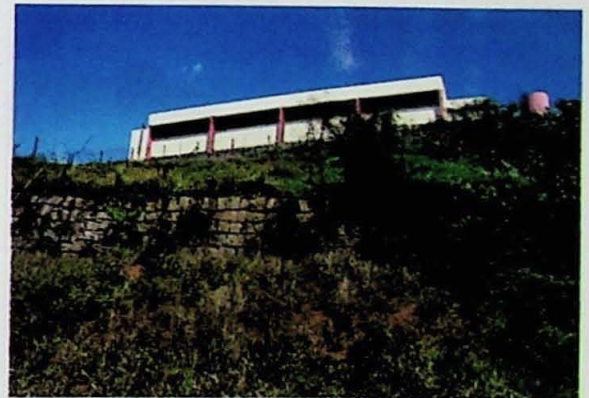


Foto 16 (PONTO 6) – Fundos da escola com construção de muro de contenção. Deslizamento de terra há cerca de 10 anos. Município: Poá. Foto: Cláudio José Ferreira.

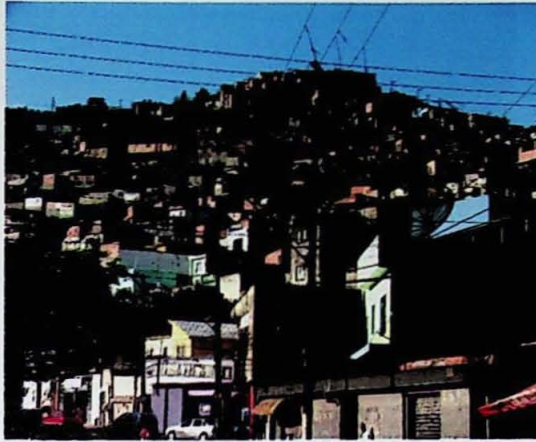


Foto 17 (PONTO 9) – Vista geral da área. Observar declividade e inclinação da encosta e dos taludes de corte. Município: Mauá. Foto: Cláudio José Ferreira.

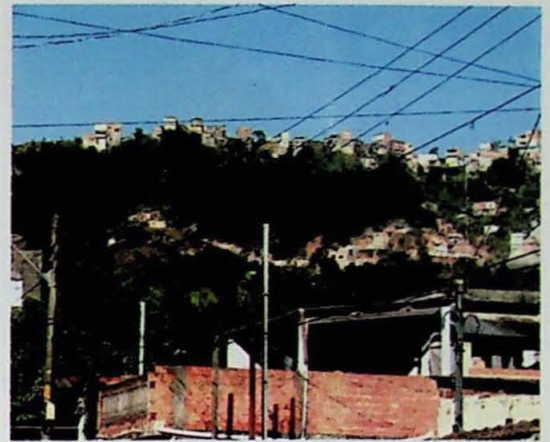


Foto 18 (PONTO 9) – Vista geral da área. Observar a presença de cicatriz de escorregamento. Município: Mauá. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 19 (PONTO 10) – Vista geral da área. Notar adensamento urbano e declividade acentuada. Município: Mauá. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 20 (PONTO 10) – Vista parcial da área anterior. Casas próximas ao talude de corte com alta declividade na parte superior. Município: Mauá. Foto: Cláudio José Ferreira.

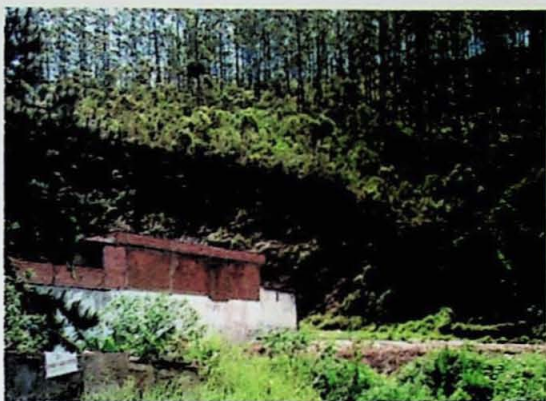


Foto 21 (PONTO 11) – Vista geral da área. Notar talude de corte parcialmente exposto atrás das moradias. Município: Ribeirão Pires. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 22 (PONTO 11) – Talude de corte com solo exposto próximo ao anterior. Notar presença de bloco de granito. Município: Ribeirão Pires. Foto: Cláudio José Ferreira.



Foto 23 (PONTO 12) – Vista geral da área. Inclinação acentuada da encosta e dos taludes de corte. Município: Ribeirão Pires. Foto: Cláudio José Ferreira.



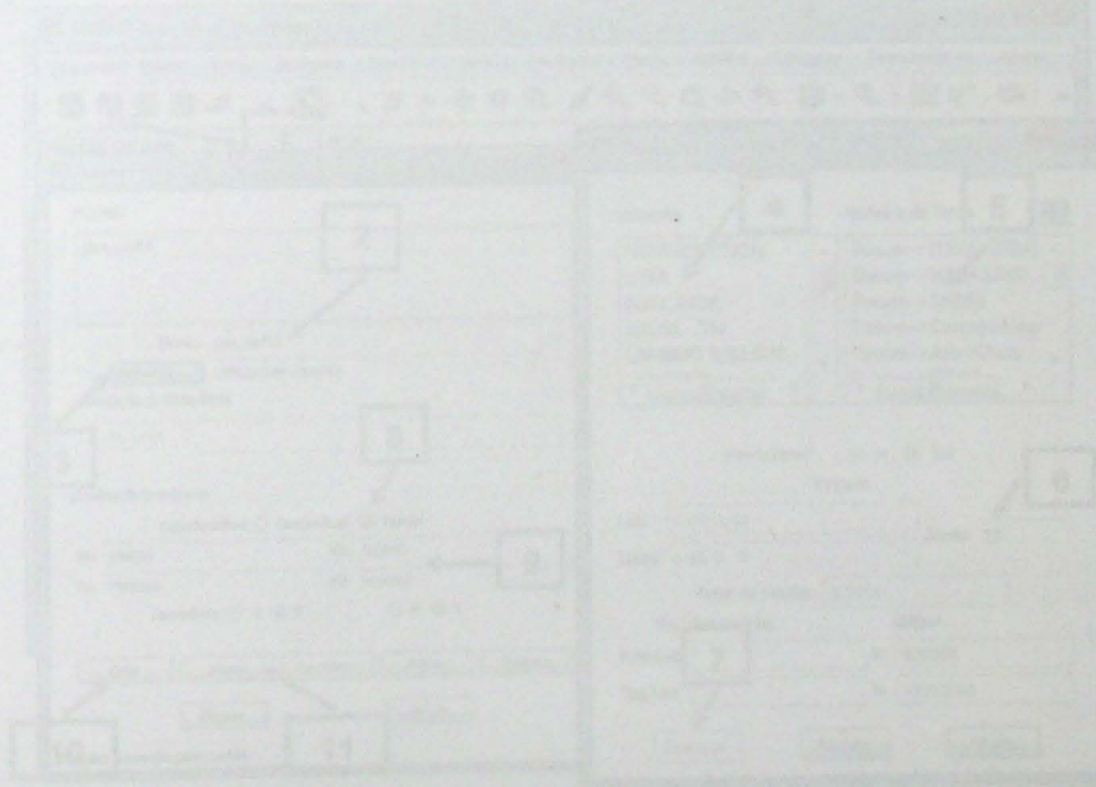
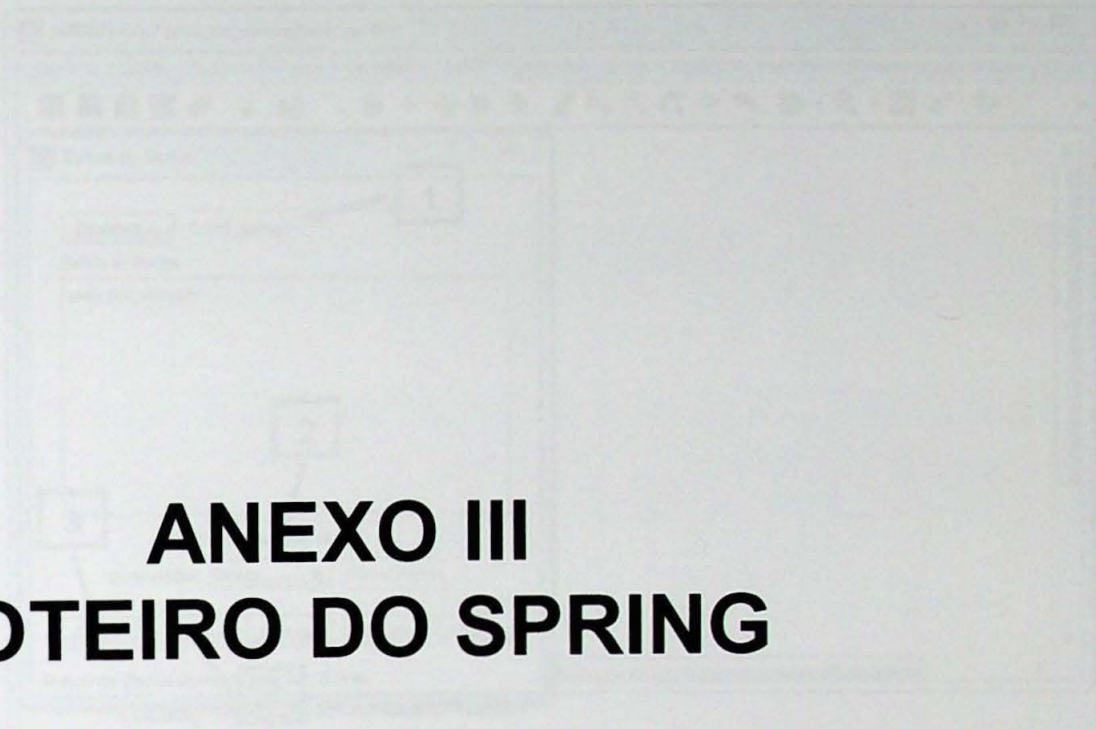
Foto 24 (PONTO 12) – Cicatriz de escorregamento próxima das casas. Presença de lixo e entulho. Município: Ribeirão Pires. Foto: Cláudio José Ferreira.

5 Organização Inicial do Banco de Dados e Importação de planos de informação

1) Criação do Banco de Dados: Após a instalação do ArcGIS e seguir as passo a passo. Um banco de dados em ArcGIS é gerenciado através de um sistema de arquivos armazenado em um servidor de dados, com uma definição de topologia e classes, que se aplica automaticamente ao banco. Os projetos são armazenados em um sistema de arquivos separado, independentemente do sistema de arquivos de dados. Deve garantir que o usuário possui os direitos de acesso ao banco.

ANEXO III ROTEIRO DO SPRING

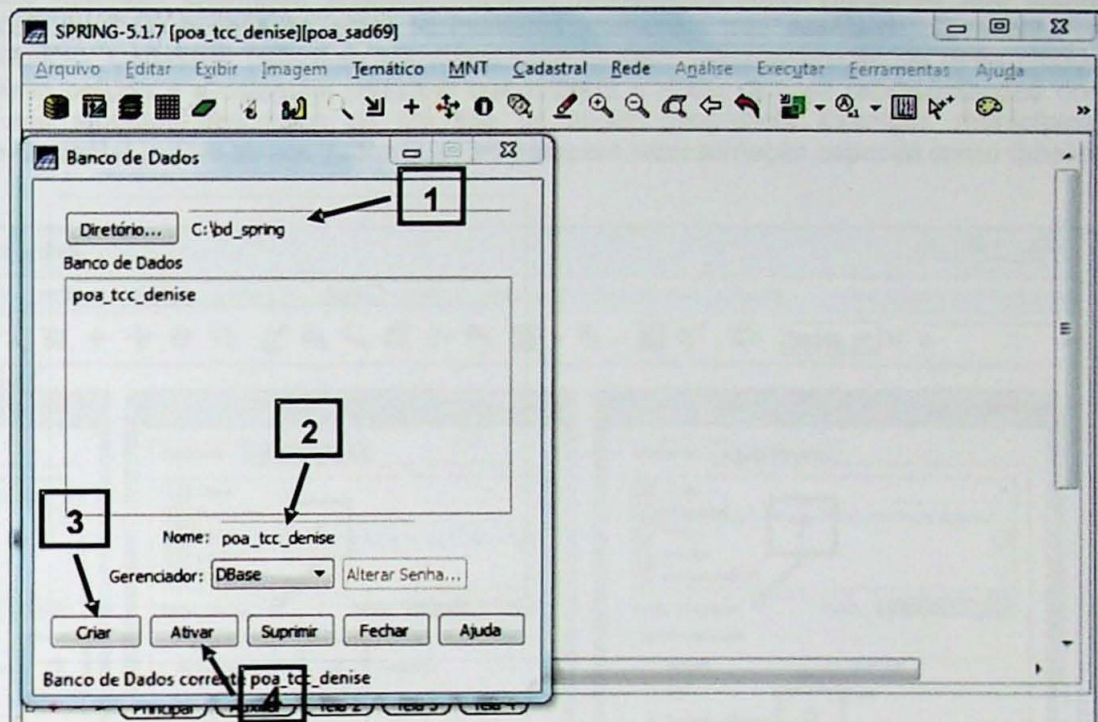
2) Criação do Projeto: Após a instalação do ArcGIS e seguir as passo a passo. Para definir um projeto no Spring é necessário estabelecer a linha horizontal da base em estado (Projeto Estático) e a Planilha Cartográfica para integração dos dados geográficos que estarão sendo manipulados. Um projeto contém Planos de Informação (PI) dentro do sistema de arquivos de dados e estes referem-se ao sistema de projeção. Os dados originais provenientes de outros sistemas de projeção serão sempre reclassificados para a projeção do projeto durante o processo de importação ou entrada de dados.



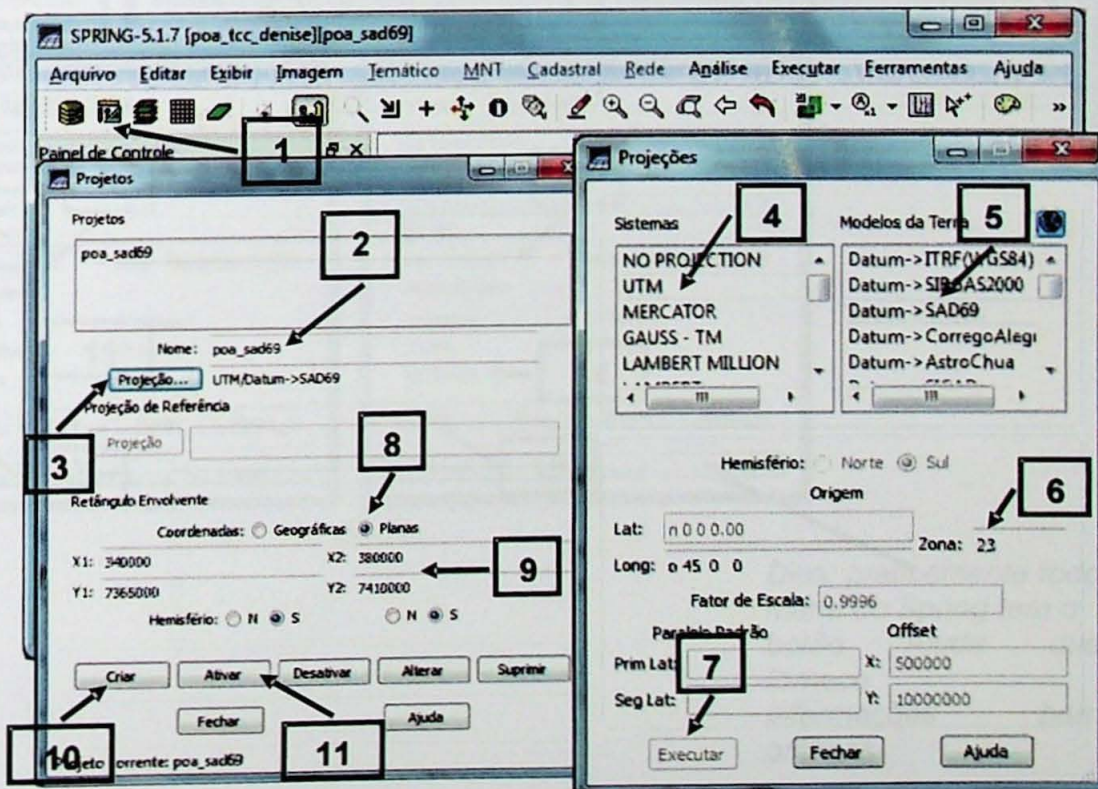
Roteiro dos procedimentos no Sistema de Informações Geográficas

1) Organização inicial do Banco de Dados e importação de planos de informação

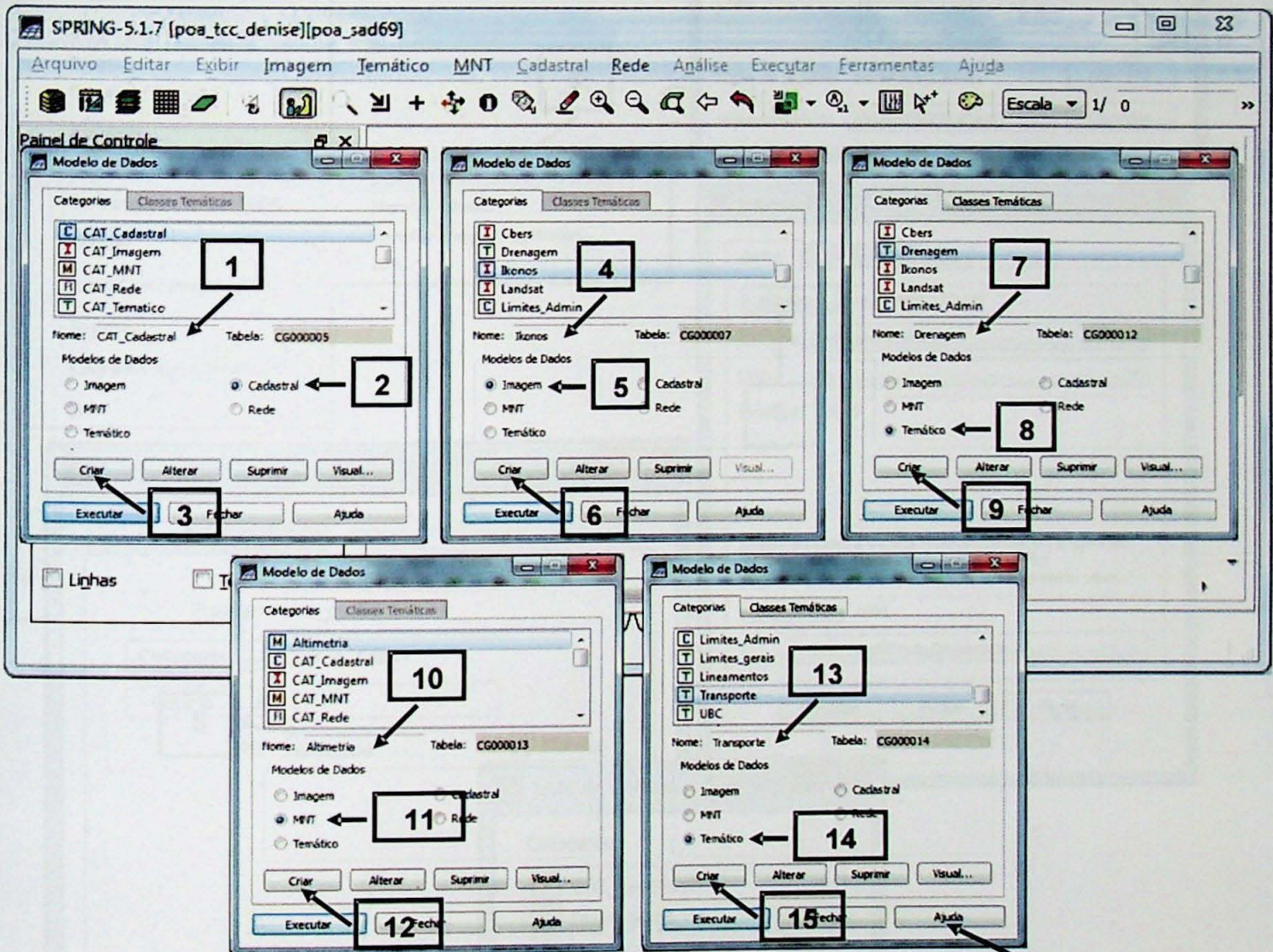
1) Criação do Banco de Dados. Abrir o aplicativo Spring e seguir os passos abaixo. Um Banco de Dados no Spring corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados tanto o Modelo de Dados, com suas definições de Categorias e Classes, quanto os projetos pertencentes ao banco. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados.
Dica: procure criar o diretório próximo da raiz do disco rígido.



2) Criação do Projeto. Abrir a aba Projetos e seguir os passos indicados. Para definir um projeto no Spring é necessário estabelecer o limite geográfico da área em estudo (Retângulo Envolvente) e a Projeção Cartográfica mais adequada aos dados geográficos que estarão sendo manipulados. Um projeto contém Planos de Informação (PI) dentro do retângulo envolvente definido e estes herdarão o seu sistema de projeção. Os dados originais provenientes de outros sistemas de projeção, serão sempre remapeados para a projeção do projeto durante o processo de importação ou entrada de dados.

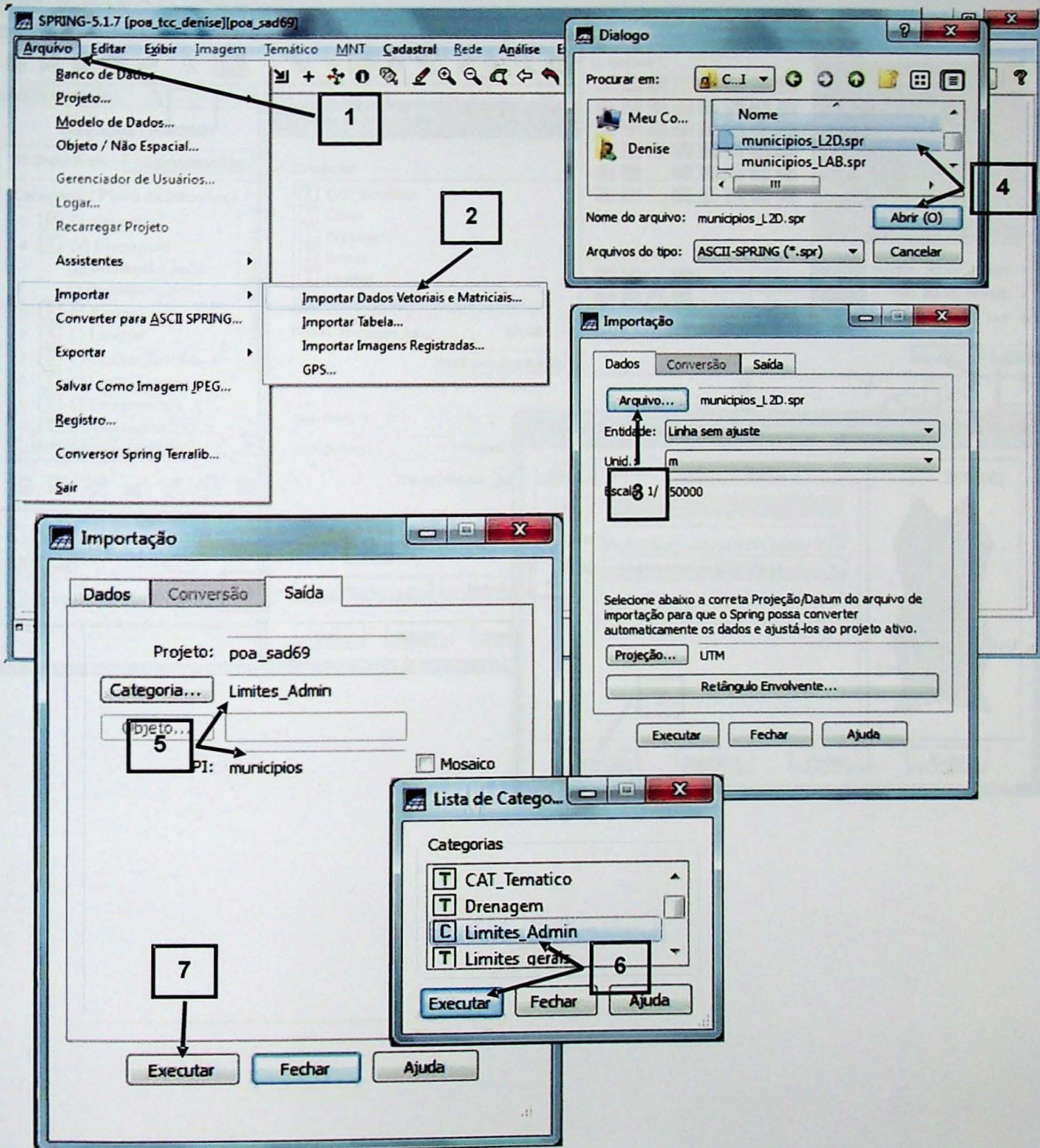


3) Criação das Categorias. Abrir a aba Modelo de Dados e criar as categorias como abaixo. No SPRING, todo e qualquer mapa deverá pertencer à uma Categoria: **Temático** (refere-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema: tipos de solo), **Numérico** (refere-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície. Exemplo: altimetria), **Imagem** (refere-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial. Exemplos: imagens IKONOS, LANDSAT), **Rede** (refere-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que deseja-se representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica), **Cadastral** (refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: Divisão política é a categoria cadastral que conterá o mapa com as representações dos municípios), **Objeto** (refere-se aos atributos descritivos de um tipo de objeto geográfico. Exemplo: municípios, logradouros, propriedades) e **Não-Espacial** (refere-se aos dados que não possuem representação espacial como tabelas alfanuméricas).

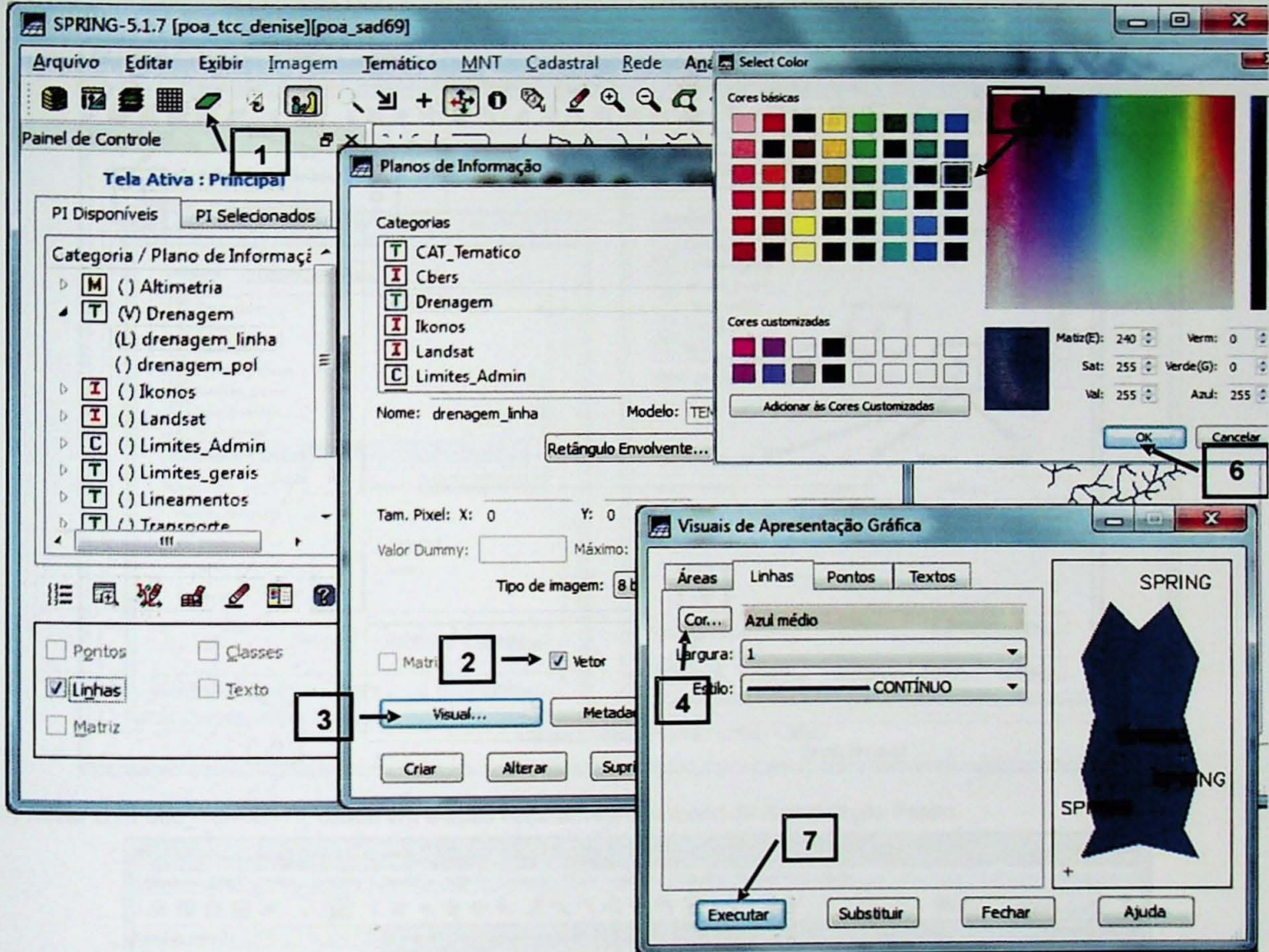


Dica: praticamente todo menu do Spring tem o botão Ajuda que fornece informações bem práticas

4) Importação inicial de planos de informação. Importar o limite municipal conforme procedimentos abaixo. Repetir os procedimentos escolhendo as categorias correspondentes e mudando os nomes dos PI's e importar a drenagem (categoria Temático-Drenagem), imagem Ikonos (categoria Imagem-Ikonos), ruas (categoria Temático-Transporte) e assim por diante.

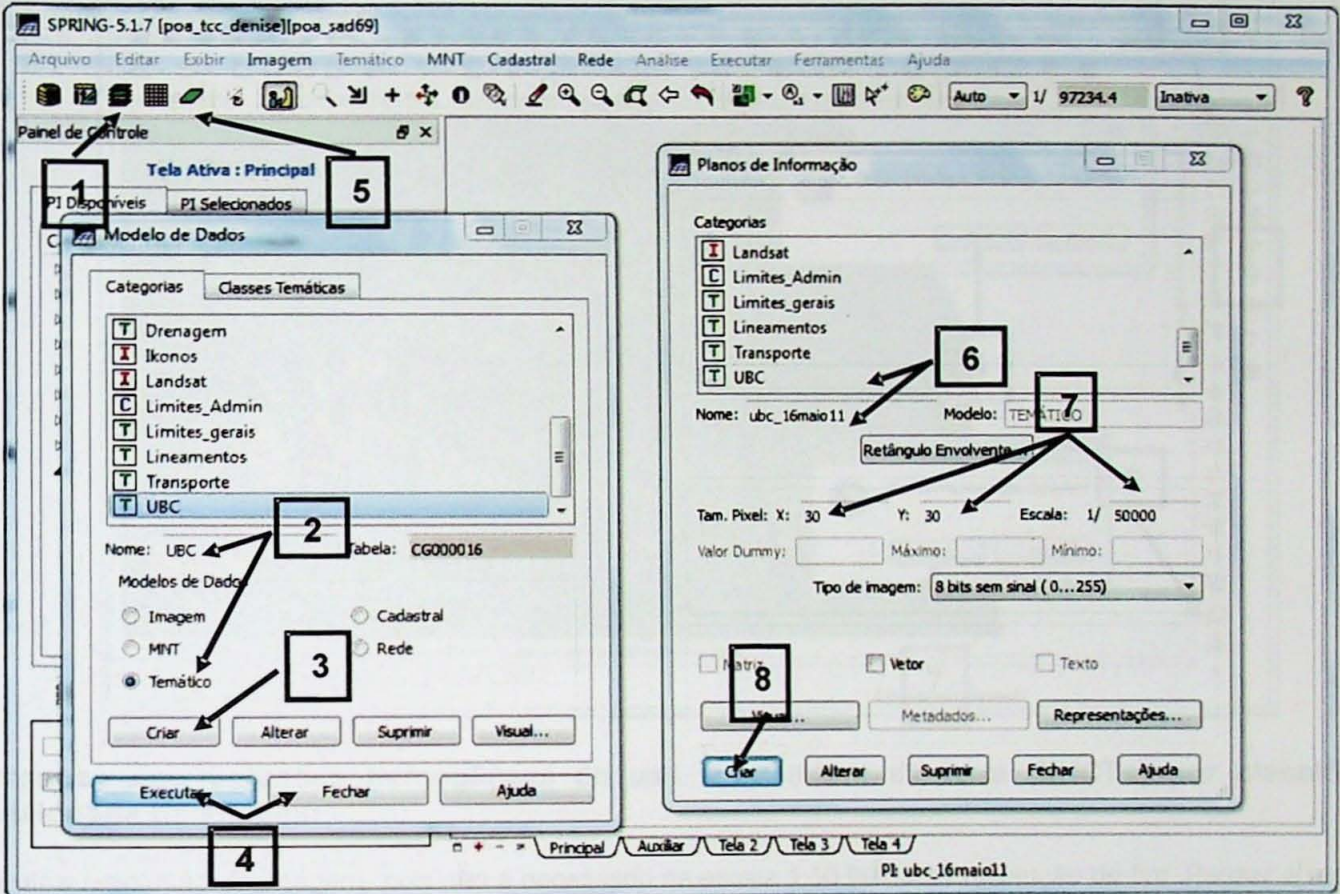


5) Visualização dos planos de informação e mudança da simbologia. Por exemplo, mudar a cor das linhas de drenagem para azul e o limite do município para preto com espessura 1. Ativar os diversos PI's carregados e testar os botões de zoom e navegação.

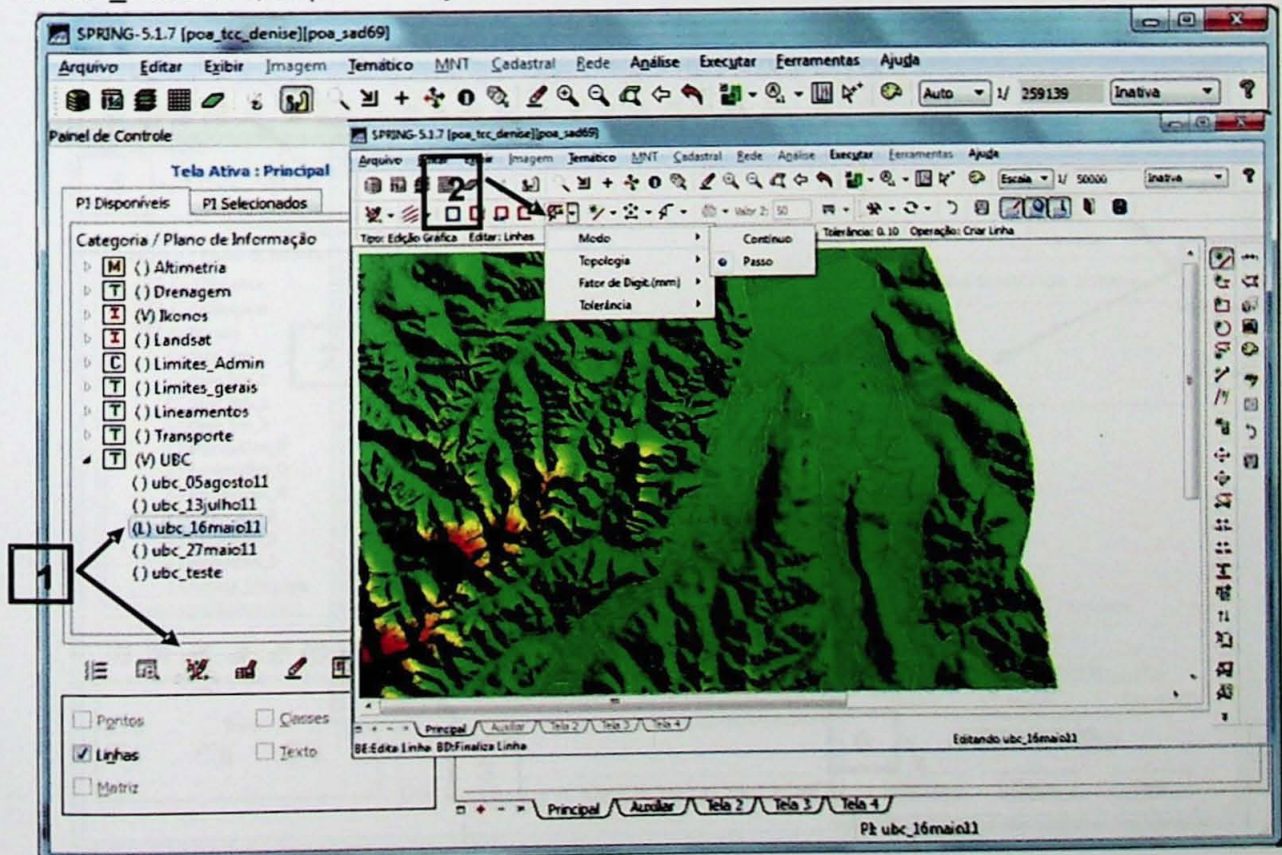


II) Obtenção das unidades básicas de compartimentação fisiográfica (UBCs) por interpretação visual do DEM

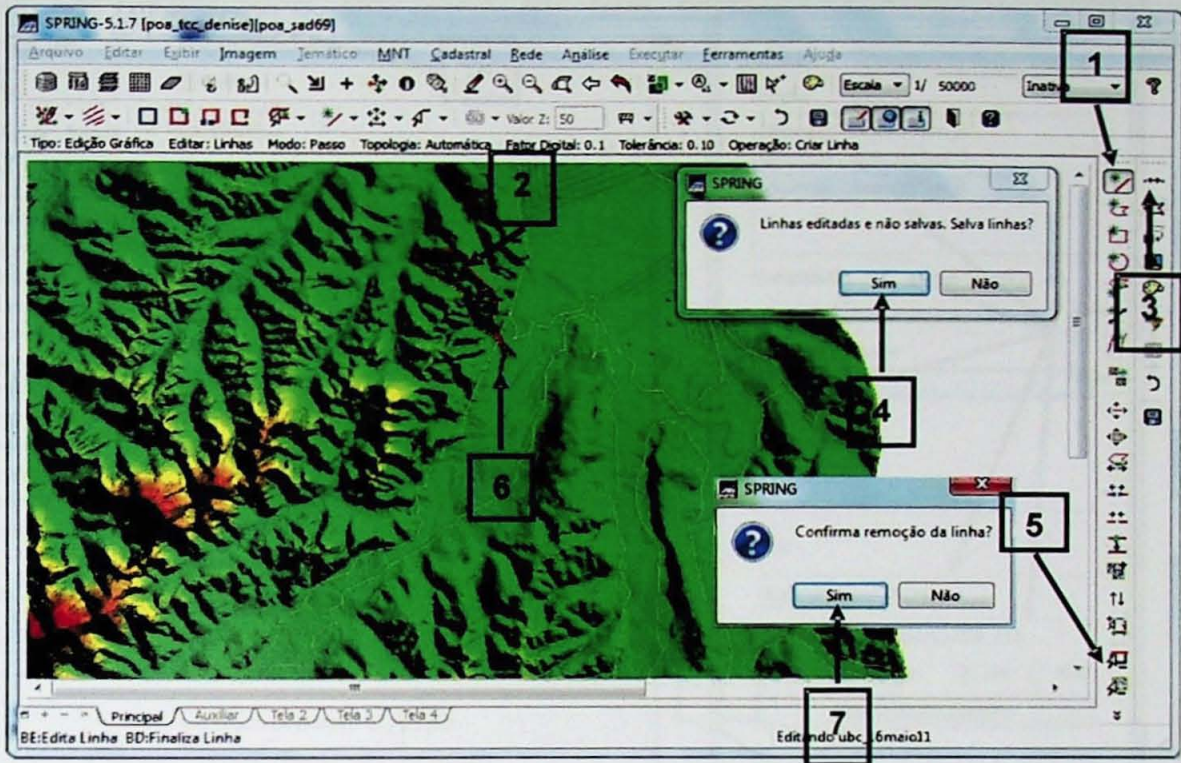
6) Criar uma categoria temática UBC e um PI `ubc_16maio11` nesta mesma categoria.



7) Ativar o PI `ubc_16maio11`, clique em edição vetorial. Ativar o modo de digitalização Passo.

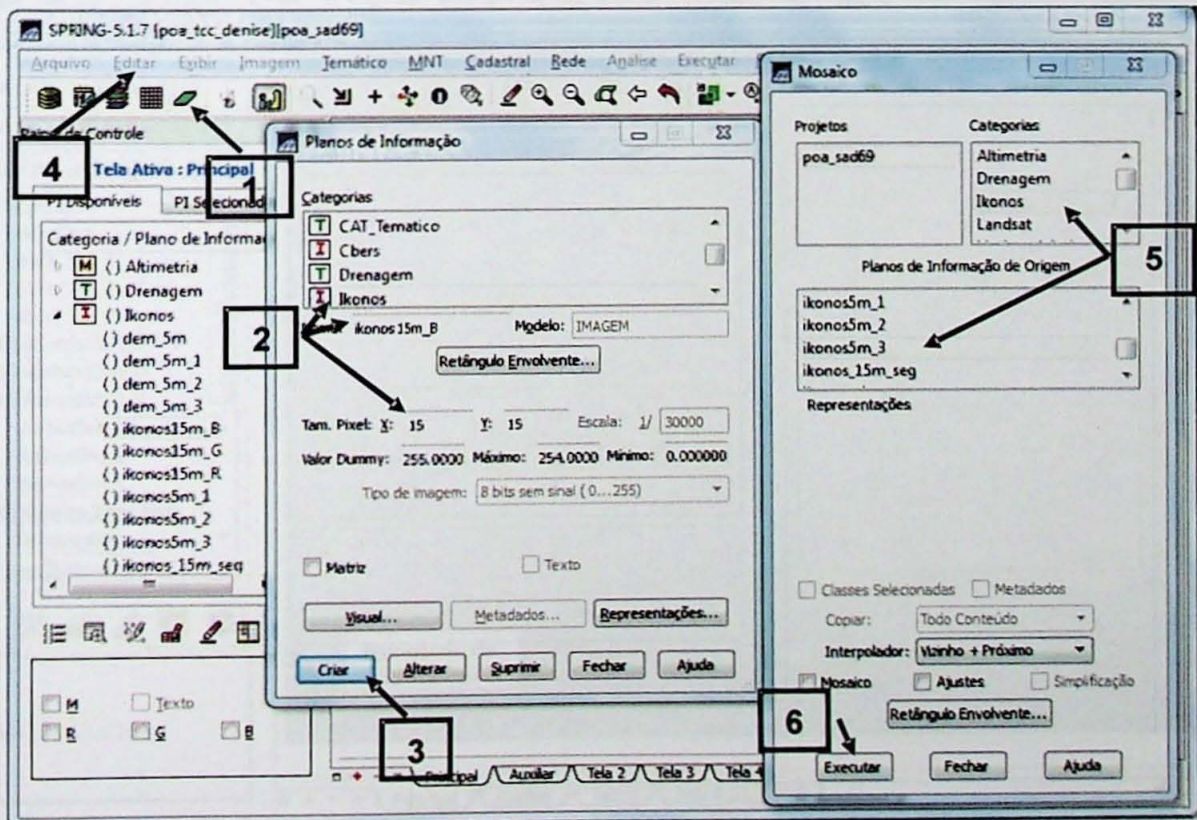


8) Com a Edição Vetorial ativada, clicar em Criar Linha ou Criar Linha Fechada. Em seguida, fazer o polígono (em vermelho) e clicar em Ajustar. Para apagar as sobras das linhas ativar Eliminar Linha, clicar sobre um ponto da linha a ser apagada e confirmar a remoção. Para sair da edição vetorial, clicar em Sair Edição Vetorial.

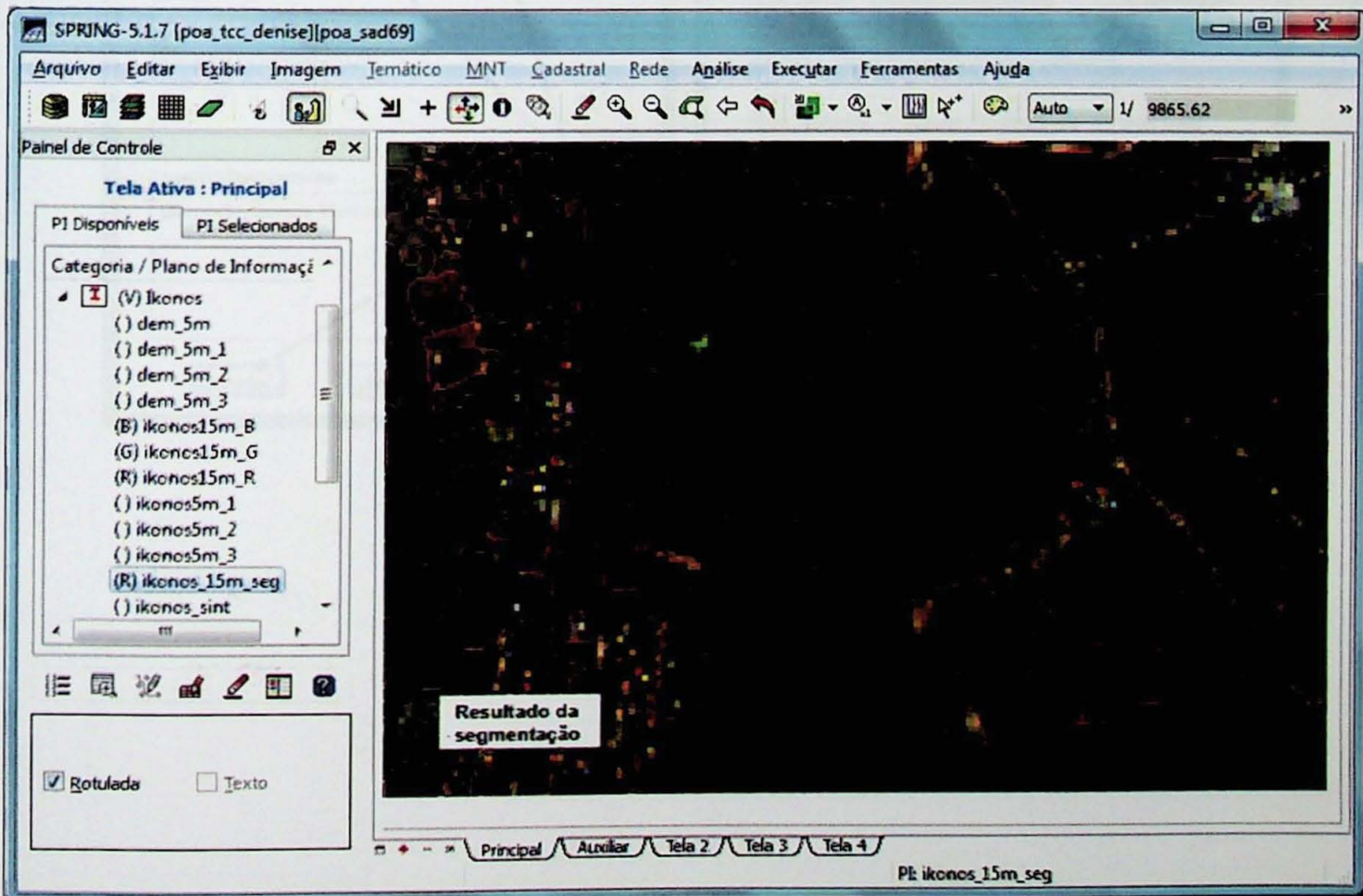
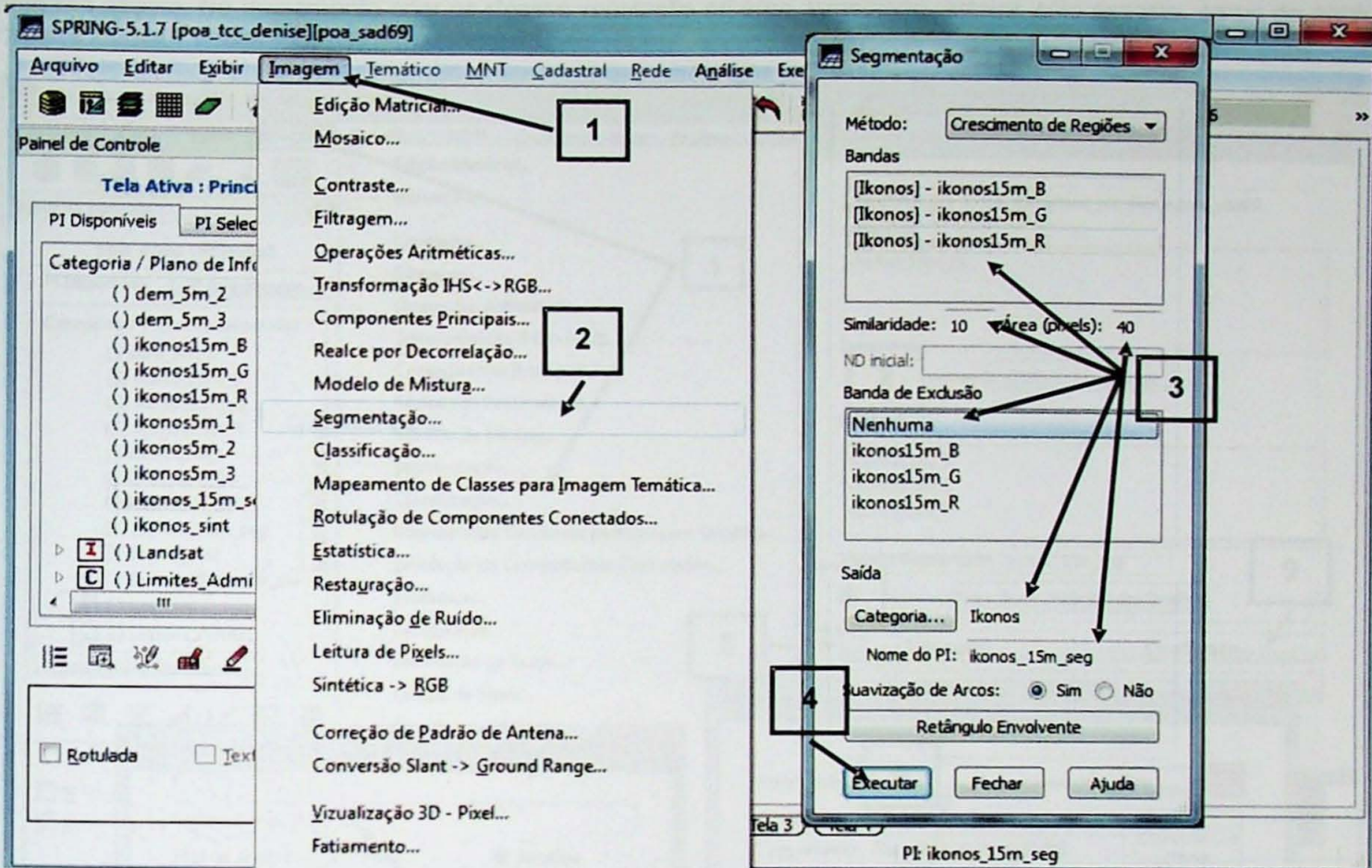


III) Obtenção das unidades homogêneas do uso e cobertura da terra (UHCTs) por classificação supervisionada de imagem

9) Diminuir a resolução da imagem, pois não é necessário na escala 1:50.000 uma resolução de 5m. Passar a resolução para 15m. Criar três PI's na categoria Ikonos com resolução 15m e copiar (função Mosaico) cada uma das bandas de 5m para os novos PI's de 15m.



10) Realizar a segmentação da imagem.



11) Realizar a classificação da imagem por meio das etapas Criar contexto, Extração de atributos e Treinamento, conforme abaixo. No treinamento criar as classes vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo exposto, corpo de água e urbano e adquirir amostras clicando na imagem.

The image displays the SPRING-5.1.7 software interface with several windows open, illustrating the classification process. The main window shows the 'Imagem' menu with 'Classificação...' selected (Step 1). The 'Classificação' window shows the directory path 'C:\bd_spring\poa_tcc_denise\poa_sad69' and the context name 'ikonos_15m_cx' (Step 2). The 'Bandas' section lists 'ikonos15m_B', 'ikonos15m_G', and 'ikonos15m_R'. The 'Imagem Segmentada' section shows 'ikonos_15m_seg' (Step 9). The 'Treinamento...' button is highlighted (Step 5). The 'Treinamento' window shows the 'Nome' field set to 'urbano' (Step 6) and a list of classes with their pixel counts: 'veg_arborea' (81386), 'veg_rast' (6231), 'solo_exposto' (1709), 'corpo_agua' (65665), and 'urbano' (1036). The 'Amostras' table lists acquisition points with their pixel counts. The 'Adquirir' button is highlighted (Step 7). The 'Executar' button in the 'Criação de Contexto' window is highlighted (Step 3). The 'Salvar' button in the 'Treinamento' window is highlighted (Step 8).

1 Imagem > Classificação...

2 Contextos: ikonos_15m_cx

3 Criação de Contexto: Nome: ikonos_15m_cx, Tipo de Análise: Regiões, Bandas: [Ikonos] - ikonos15m_B, [Ikonos] - ikonos15m_G, [Ikonos] - ikonos15m_R, Imagens Segmentadas: [Ikonos] - ikonos_15m_seg, Executar

4 Extração de Atributos das Regiões

5 Treinamento...

6 Nome: urbano, Cor...

7 Adquirir

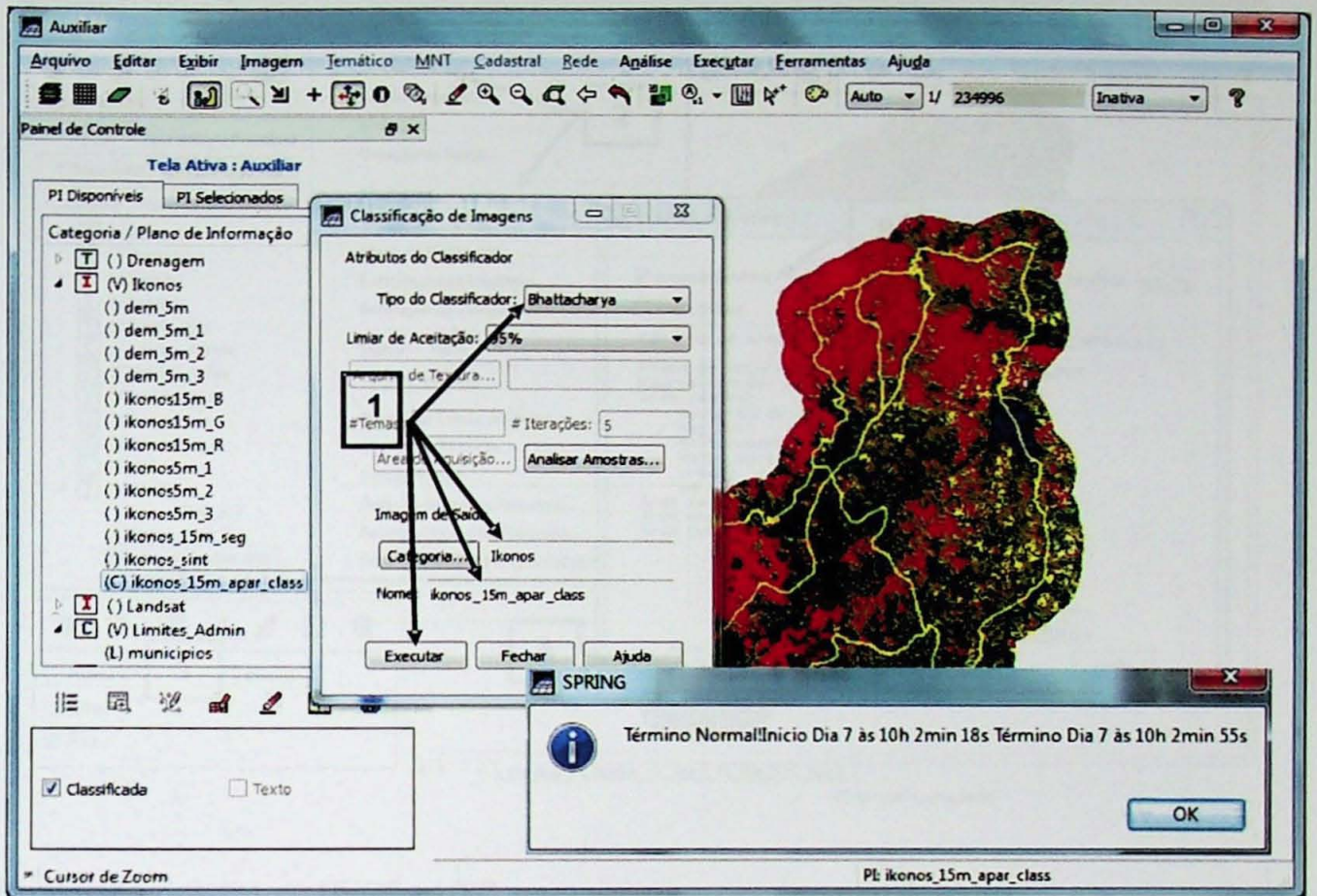
8 Salvar

9 Imagem Segmentada: ikonos_15m_seg

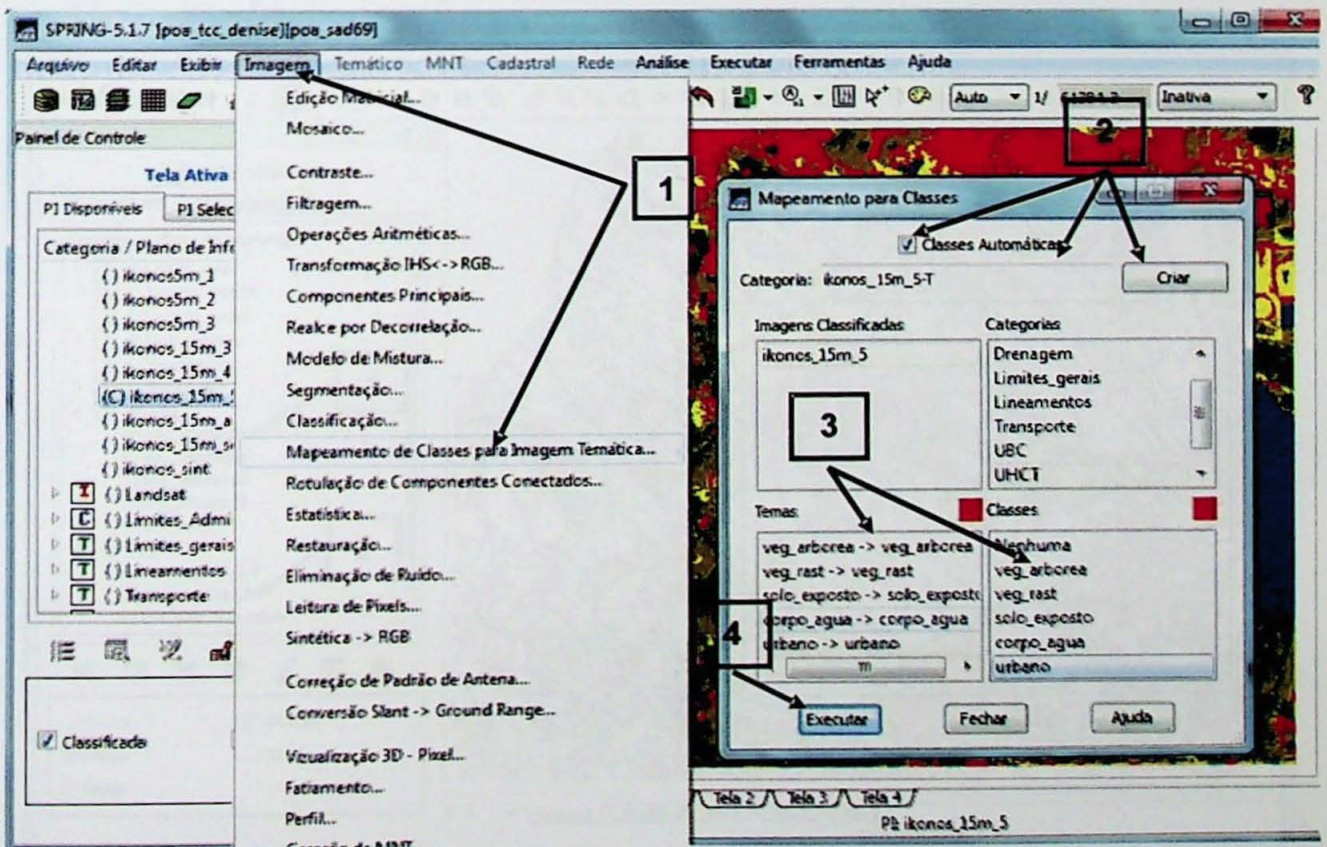
Class	Núm.Total de Pixels
veg_arborea	81386
veg_rast	6231
solo_exposto	1709
corpo_agua	65665
urbano	1036

Amostras	Núm.de Pixels
13 (Aquisição)	60
15 (Aquisição)	308
22 (Aquisição)	62
23 (Aquisição)	228
24 (Aquisição)	62
46 (Aquisição)	148

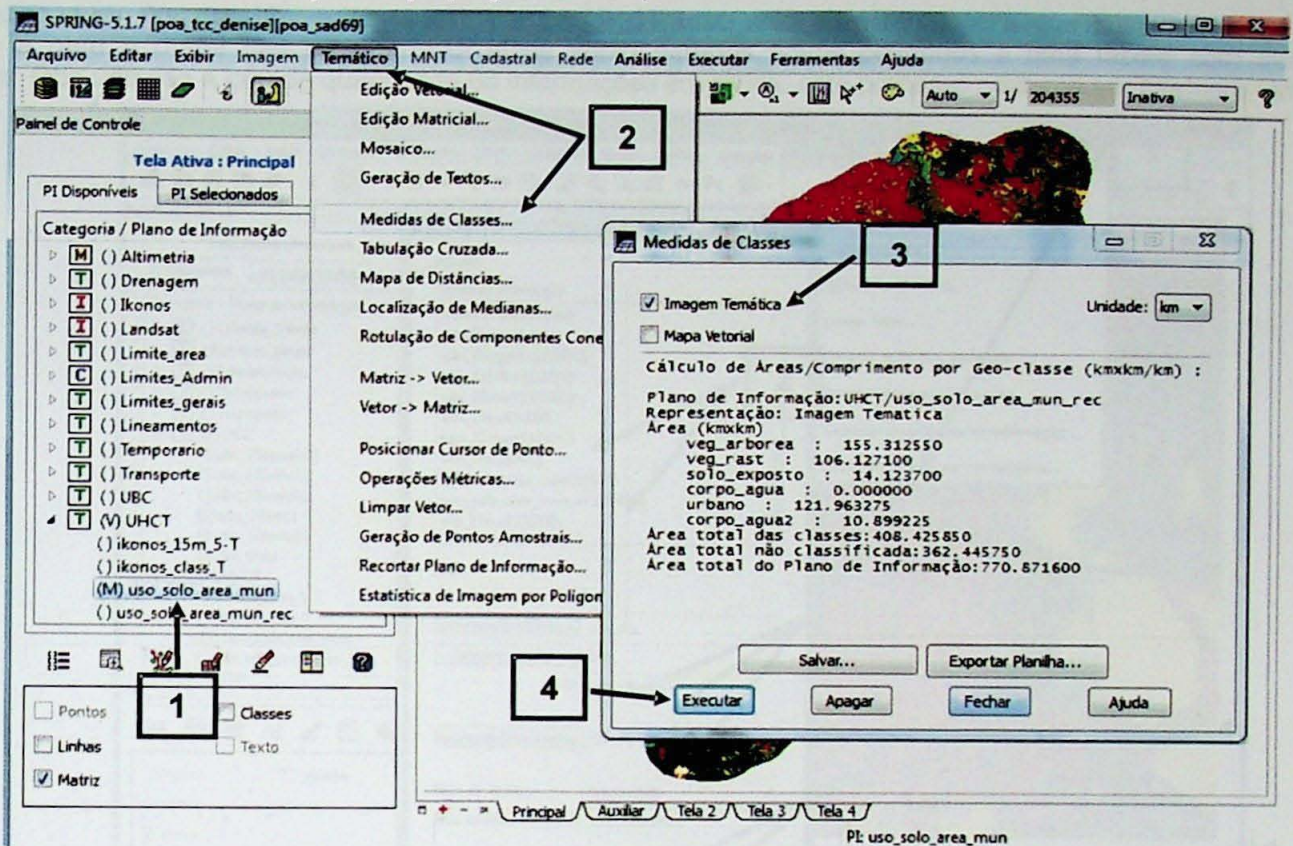
12) Classificação – continuação.



13) Mapeamento para Classes Temáticas.

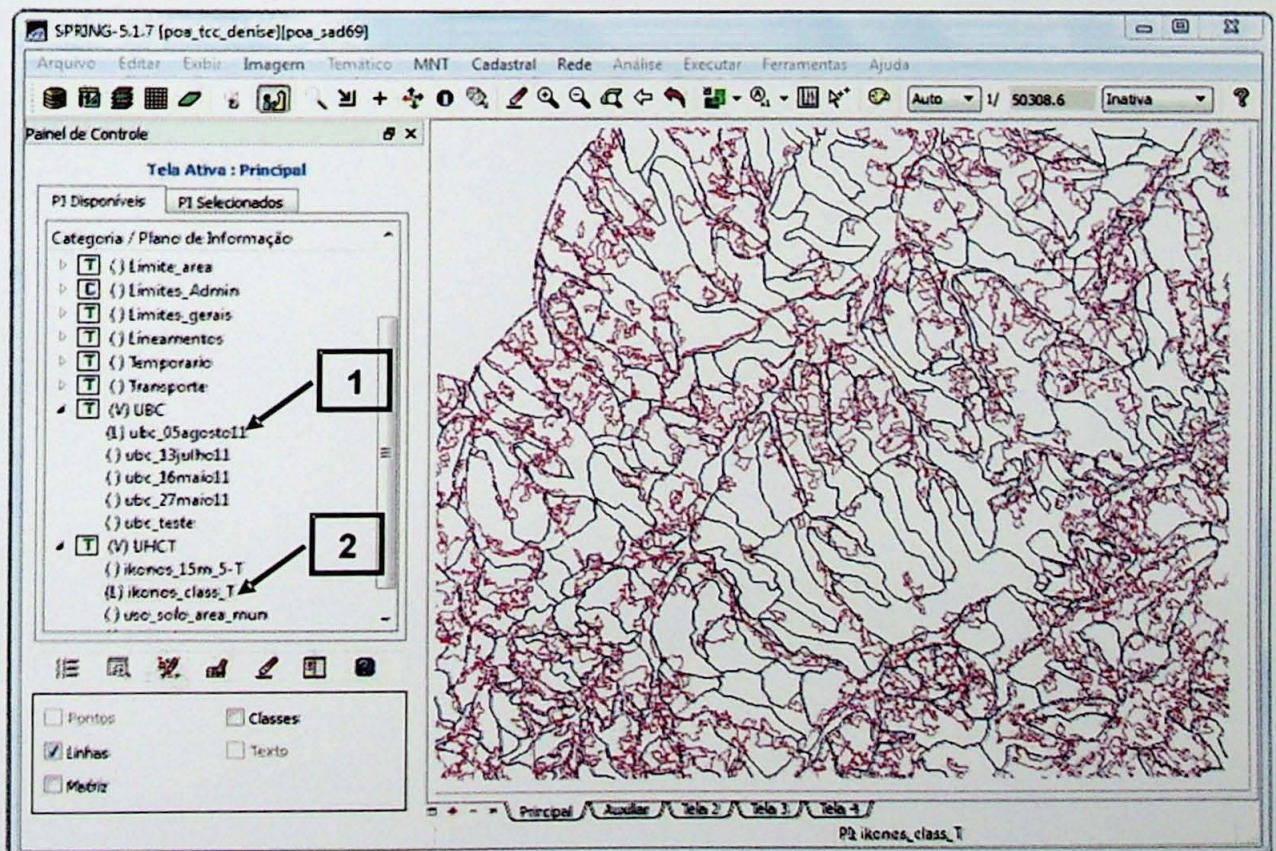


14) Veja o resultado da classificação e a proporção de área para cada classe.



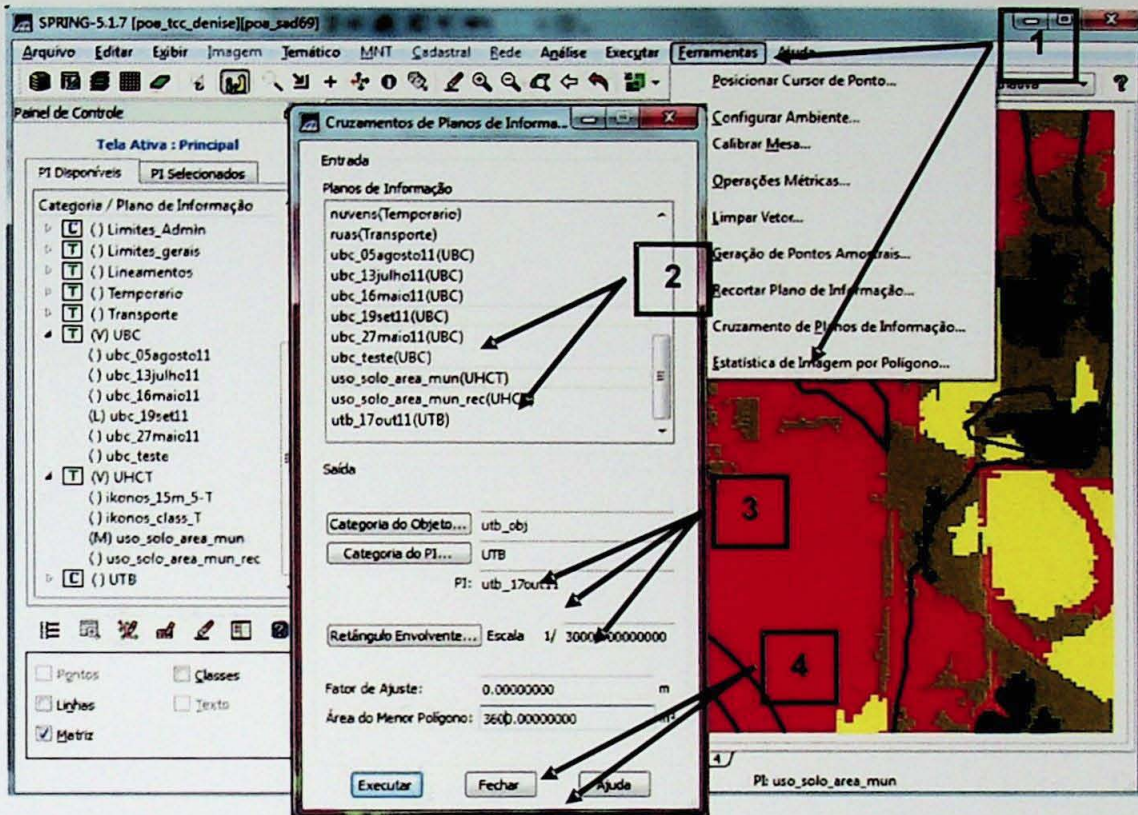
IV) Sobreposição dos PIs de UHCT e UBC

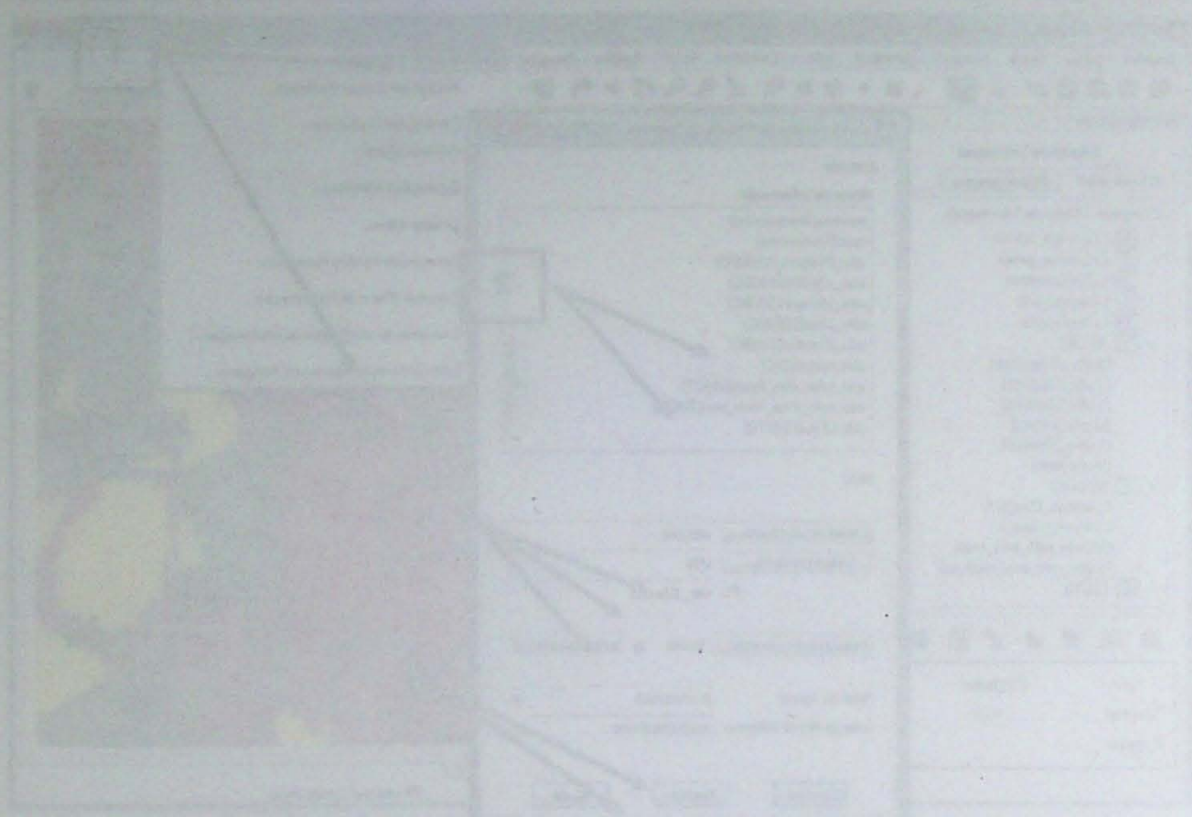
15) Ativar as linhas dos PIs `ubc_05agosto11` (UBC) e `ikonos_class_T` (UHCT) para visualizar a sobreposição das informações que serão cruzadas para geração das UTBs.



V) Geração da UTB

16) Selecionar os PIs da UBC (ubc_19set11) e da UHCT (uso_solo_area_mun) para que suas informações sejam cruzadas e gere o mapa das UTBs. Nesta etapa serão gerados novos polígonos e uma tabela com informações referentes. Obs.: devido a grande quantidade de informações envolvida, este processo costuma ser bastante lento.





DOAÇÃO _____
TGC - USP
Data: 09/02/12

