

DANIELA MIWA UEMURA KAWAGUTI
LAERTE APPOLINARIO JUNIOR
MARIANA PIESCO

Mapas de fragilidade ambiental para a avaliação de riscos em
zonas de interesse social de São Paulo

São Paulo
2016

DANIELA MIWA UEMURA KAWAGUTI
LAERTE APPOLINARIO JUNIOR
MARIANA PIESCO

Mapas de fragilidade ambiental para a avaliação de riscos em
zonas de interesse social de São Paulo

Projeto de formatura apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Ambiental

São Paulo
2016

DANIELA MIWA UEMURA KAWAGUTI
LAERTE APPOLINARIO JUNIOR
MARIANA PIESCO

Mapas de fragilidade ambiental para a avaliação de riscos em
zonas de interesse social de São Paulo

Projeto de formatura apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Ambiental

Orientadora:

Profa. Dra. Mariana A. Giannotti

Co-orientadora:

Profa. Dra. Amarilis L. C. F. Gallardo

São Paulo
2016

Catálogo-na-publicação

Kawaguti, Daniela

Mapas de fragilidade ambiental para a avaliação de riscos em zonas de interesse social de São Paulo / D. Kawaguti, L. Junior, M. Piesco -- São Paulo, 2016.

92 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Deslizamento de terra 2.Planejamento Urbano e Ambiental
3.Geoprocessamento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t. III.Junior, Laerte
IV.Piesco, Mariana

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Professora Mariana Abrantes Gianotti por nos orientar durante o todo o desenvolvimento deste trabalho ajudando-nos desde as ideias iniciais do trabalho até a sua conclusão. À Juliana Siqueira Gay agradecemos pela sua participação especial e por sempre estar presente em nossas reuniões dando opiniões que foram de fundamental importância para o andamento e progresso de nossas atividades. Por fim, mas não menos importante, agradecemos a Professora Amarilis Gallardo pela sua participação como professora co-orientadora.

RESUMO

São Paulo é uma cidade conhecida pelos seus contrastes, reflexo de uma organização econômica e social que exclui parcela da cidade dos benefícios gerados pelo seu desenvolvimento econômico. Esse contraste é refletido na distribuição territorial e habitacional da cidade, tendo cerca de um terço da população residindo em favelas e loteamentos irregulares (Abiko, 2008). De acordo com Santos (1990), os fenômenos de empobrecimento e periferização influenciam-se mutuamente, agravando a problemática urbana. A população localizada em regiões de pior infraestrutura e em locais isolados têm menos acesso aos serviços públicos, transporte e acabam por ter menos oportunidades, agravando as condições de vida desta parcela da população. Além disto, muitas vezes ficam expostos à áreas de deslizamento, e com empreendimentos mal executados, podem ocorrer riscos de acidentes. Deste modo, urge que o planejamento urbano e ambiental seja pautado na reversão desse processo de exclusão territorial.

Como ferramenta ao combate da exclusão social, tem-se as Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), que são parcelas da área urbana instituída pelo Plano Diretor ou outra lei municipal, destinada predominantemente à moradia da população de baixa renda, sendo áreas com regras próprias de parcelamento, uso e ocupação do solo (Lei Federal 11.977/09 - art. 47/V). Em São Paulo, houve uma atualização destas áreas com a mudança do Plano Diretor Estratégico (PDE). Neste trabalho serão exploradas as mudanças encontradas nas ZEIS dos PDEs (Lei 13.885/04 e Lei 16.050/14), principalmente a localização destes em relação à fragilidade do solo à susceptibilidade ao deslizamento.

Para a realização de tal, utilizaram-se técnicas de geoprocessamento, elaborando o mapa de fragilidade ambiental, que possibilitou a identificação de áreas vulneráveis ao deslizamento de terra. Para tal, foi gerado o mapa de fragilidade do município de São Paulo. Esse mapa foi elaborado a partir da combinação de três mapas: uso e ocupação do solo, compartimentação do relevo e pluviosidade. Realizou-se ainda uma avaliação desse mapa a partir de uma análise comparativa com o mapa de Risco Geológico fornecido pelo GeoSampa (plataforma online da prefeitura para a disponibilização de dados georreferenciados). Por meio desta comparação, foi possível concluir que o mapa gerado pela adaptação das

metodologias propostas por Ross (1994) e Crepani (1996) pode ser utilizado para fins de planejamento urbano e ambiental.

Após esta etapa comparou-se o mapa gerado de fragilidade ambiental, com as áreas de ZEIS dos Planos Diretores Estratégicos (Lei 13.885/04 e Lei 16.050/14), retirado do GeoSampa. Por meio desse processo, chegamos às conclusões de que mais de 30% das áreas das ZEIS estão situadas em locais de “alta” e “muito alta” fragilidade.

Palavras-chave: Deslizamento de terra. Zonas especiais de interesse social. Mapa de fragilidade ambiental. Planejamento urbano e ambiental. Geoprocessamento.

ABSTRACT

São Paulo is a city known for its many contrasts, reflecting an economic and social organization that excludes a portion of the city from the benefits generated by its economic development. This contrast is reflected in the territorial and housing distribution of the city, with about one third of the population residing in favelas and irregular subdivisions (Abiko, 2008). According to Santos (1990), the phenomena of impoverishment and peripheralization influence each other, aggravating urban problems. The population located in regions of worse infrastructure and in isolated places have less access to public services, transportation and end up having fewer opportunities, aggravating the living conditions of this part of the population. In addition, they are often exposed to landslides, and with misconduct, risks of accidents may occur. In this way, it is urgent that urban and environmental planning be based on the reversal of this process of territorial exclusion.

As a tool to combat social exclusion, there are the Special Zones of Social Interest (ZEIS), which are parcels of the urban area established by the Master Plan or other municipal law, destined predominantly to the housing of the low income population, in which have their own rules of land use and soil occupation (Federal Law 11,977 / 09 - article 47 / V). In São Paulo, there was an update of these areas with the change of the Strategic Master Plan (PDE). In this work, the changes found in the ZEIS of the PDEs (Law 13,885 / 04 and Law 16,050 / 14) will be explored, mainly the location of these zones in relation to the soil fragility to the susceptibility to landslide.

To accomplish this, geoprocessing techniques were used, elaborating the map of environmental fragility, which made it possible to identify vulnerable areas to landslides. For this, the fragility map of the city of São Paulo was generated. This map was elaborated from the combination of three maps: land use and soil occupation, subdivision of relief and rainfall. An evaluation of this map was also made based on a comparative analysis with the Geological Risk map provided by GeoSampa (online city hall platform for georeferenced data availability). Through this comparison, it was possible to conclude that the map generated by the adaptation of the methodologies proposed by Ross (1994) and Crepani (1996) can be used for urban and environmental planning purposes.

After this step the generated map of environmental fragility was compared with the ZEIS areas of the Strategic Master Plans (Law 13,885 / 04 and Law 16,050 / 14), removed from GeoSampa. Through this process, we reach the conclusions that more than 30% of the ZEIS areas are located in places of "high" and "very high" fragility.

Keywords: Land sliding. Special areas of social interest. Map of environmental fragility. Urban and environmental planning. Geoprocessing

.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Área das ZEIS nas Leis de 2004 e 2014. | 22 |
| Figura 2 - Construção do mapa de fragilidade pela Metodologia de Ross. | 28 |
| Figura 3 - Construção do mapa de fragilidade pela Metodologia de Crepani | 29 |
| Figura 4 - Fluxograma de atividade na primeira etapa do trabalho..... | 33 |
| Figura 5 - Fluxograma de atividades na segunda etapa do trabalho | 34 |
| Figura 6 Relação dos fluxos de água conforme as feições da vertente..... | 38 |
| Figura 7 - Representação da curvatura horizontal das vertentes. | 39 |
| Figura 8 - Mapa de cobertura do solo do município de São Paulo -SP (2015)..... | 61 |
| Figura 9 - Mapa de compartimentação do relevo do município de São Paulo – SP (2015). | 62 |
| Figura 10 - Mapa pluviométrico no município de São Paulo – SP (2015)..... | 63 |
| Figura 11 - Mapa de fragilidade do município de São Paulo – SP (2015). | 64 |
| Figura 12 - Mapa de fragilidade do município de São Paulo em destaque os distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá. | 65 |
| Figura 13 - Mapa do Zoneamento de 2016, em destaque as ZEIS 02,03,04,05.13 . | 66 |
| Figura 14 - Mapa de zoneamento 2016 ZEIS X Mapa de fragilidade. | 67 |
| Figura 15 - Mapa de zoneamento 2016 ZEIS X mapa de fragilidade (distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá). | 68 |
| Figura 16 - Mapa de Zoneamento 2004 - ZEIS 02,03,04..... | 69 |
| Figura 17 - Mapa de Zoneamento 2004 - ZEIS 02,03,04 X Mapa de Fragilidade. ... | 70 |
| Figura 18 Mapa de zoneamento 2004 - ZEIS 02,03,04 x mapa de fragilidade (distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá). | 71 |
| Figura 19 - Mapa do município de São Paulo com os distritos. | 72 |
| Figura 20 - Mapa de Risco Geosampa X Mapa Fragilidade. | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 21 - Mapa de Risco Geosampa X Mapa Fragilidade fragilidade (distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá). | 74 |
|---|----|

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Porcentagem da área do mapa MV por intensidade de fragilidade. | 56 |
| Gráfico 2 - Porcentagem das áreas do município de São Paulo por intensidade de fragilidade..... | 56 |
| Gráfico 3 - Porcentagem de áreas de ZEIS 2, 3 e 4 (Lei 13.885/04) em cada tipo de fragilidade..... | 57 |
| Gráfico 4 : Porcentagem de áreas de ZEIS 2, 3, 4 e 5 (Lei 16.050/16) em cada tipo de fragilidade..... | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Mudança nas HIS pelas Leis 13.885/04 e Lei 16.050/14..... | 23 |
| Tabela 2 - Mudanças nas HMP pelas Leis 13.885/04 e Lei 16.050/14 | 24 |
| Tabela 3 - Comparação entre os diferentes tipos de ZEIS da Lei 13.885/04 e Lei 16.050/14 | 25 |
| Tabela 4 - Comparação dos métodos de Crepani (96) e Ross (94). Fonte: Spörl (2001) | 30 |
| Tabela 5 - Resumo da Matriz de Confusão..... | 36 |
| Tabela 6 - Graus de fragilidade adotados para identificação das áreas, adaptado da metodologia proposta por Ross (1994) e Crepani (1996). | 43 |
| Tabela 7 - Áreas por tipo de fragilidade em MV..... | 55 |
| Tabela 8 - Tabela comparativa entre as áreas de fragilidade em porcentual. | 60 |
| Tabela 9 - Cenas Utilizadas e seus respectivos metadados..... | 86 |
| Tabela 10 - Matriz de Confusão do Ponto/Órbita 219/076 do Satélite LandSat8. | 87 |
| Tabela 11 - Matriz de Confusão do Ponto/ Órbita 219/077 do Satélite LandSat8. ... | 88 |
| Tabela 12 - Matriz de Confusão do Ponto/ Órbita 220/075 do Satélite LandSat8. ... | 89 |
| Tabela 13 - Matriz de Confusão do Ponto/Órbita 220/076 do Satélite LandSat8. | 91 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introdução | 14 |
| 2 | Objetivo | 16 |
| 3 | Revisão Bibliográfica..... | 17 |
| 3.1 | O município de São Paulo: uma cidade de contrastes | 17 |
| 3.2 | Zonas de Interesse Social - ZEIS | 18 |
| 3.3 | Mudanças na Antiga e Nova Organização Urbana em Relação às ZEIS | 21 |
| 3.3.1 | Área Abrangida..... | 21 |
| 3.3.2 | Definição de Habitação de Interesse Social - HIS | 22 |
| 3.3.3 | Definição de Habitação de Mercado Popular- HMP | 23 |
| 3.3.4 | Nas classificações das ZEIS | 24 |
| 3.3.5 | Zona Mista de Interesse Social e Zona Centralidade | 25 |
| 3.4 | Construção do mapa de fragilidade..... | 26 |
| 4 | Metodologia | 32 |
| 4.1 | Levantamento de dados | 32 |
| 4.2 | Fluxograma de trabalho | 32 |
| 4.3 | Mapa de uso e ocupação do solo | 34 |
| 4.4 | Mapa de Compartimentação do relevo..... | 37 |
| 4.5 | Mapa Pluviométrico | 40 |
| 4.6 | Mapa de Fragilidade do Terreno | 42 |
| 4.7 | Mapa do Zoneamento município de São Paulo..... | 45 |
| 4.8 | Geração de dados dos mapas..... | 45 |
| 4.8.1 | Avaliação do Mapa de Fragilidade..... | 45 |
| 4.9 | Discussão da questão da escala..... | 47 |
| 5 | Análise dos dados | 52 |
| 5.1 | Mapa de uso e ocupação do solo | 53 |

| | | |
|-----|--|----|
| 5.2 | Mapa de compartimentação do relevo | 53 |
| 5.3 | Mapa pluviométrico | 54 |
| 5.4 | Mapa de Fragilidade do Terreno | 54 |
| 5.5 | Avaliação do Mapa de Fragilidade..... | 54 |
| 5.6 | Mapas de Fragilidade x Zoneamento | 56 |
| 6 | Conclusões..... | 75 |
| 7 | Referência Bibliográfica..... | 77 |
| 8 | Anexo A | 86 |
| 9 | Anexo B | 87 |

1 Introdução

O intenso processo de urbanização das grandes cidades desacoplado de um adequado projeto de planejamento urbano e socialização das áreas estratégicas centrais desencadearam um processo de periferização dos centros urbanos e segregação social. Em 2014, o déficit habitacional brasileiro era de cerca de 6,2 milhões de moradias, sendo esse número composto por aspectos como domicílio improvisado, domicílio rústico, domicílio com adensamento excessivo, ônus excessivo com aluguel e coabitação (Deconic, 2001).

Diversas políticas para habitação de interesse social vêm sendo criadas pelo governo com vistas a suprir o déficit habitacional e promover melhores condições de moradia à população de baixa renda. Além disso, políticas de gestão e planejamento urbano que visem a socialização das cidades também estão sendo revistas. O Plano Diretor Estratégico de São Paulo de 2014 é um exemplo disso. Nele estão contidas diretrizes específicas para áreas de habitação de interesse social visando a incorporação dessas áreas em zonas estratégicas com melhor infraestrutura.

Essas regiões destinadas à construção de moradias sociais são chamadas "ZEIS" (Zonas Especiais de Interesse Social). A Lei Federal 11.977/09 – art. 47/V define ZEIS como “parcela de área urbana instituída pelo Plano Diretor ou definida por outra lei municipal, destinada predominantemente à moradia de população de baixa renda e sujeita a regras específicas de parcelamento, uso e ocupação do solo.”

Caso não houvesse a regulação da política urbana, o processo de periferização da população de baixa renda seria intensificado. Para a população nessas condições, as consequências iriam desde longas viagens diárias entre suas residências e seus trabalhos à precariedade em infraestrutura nas áreas em que residem. Para a cidade, os prejuízos estão relacionados com a invasão de áreas de preservação ambiental ou mesmo de áreas de risco e deseconomias na infraestrutura.

Contudo, existem críticas relativas à localização das ZEIS. Como registrado no passado, empreendimentos populares construídos através de programas de habitação de interesse social apresentaram problemas devido a sua construção em áreas de risco, indicando uma deficiência no planejamento ambiental e urbano. Tais incidentes, além de gerar sobre-custos e perdas de bens materiais, podem acarretar em perda de vidas humanas.

A identificação das áreas de risco de deslizamento de massa e a geração de indicadores que propiciem informações sobre essas áreas são de fundamental interesse para a tomada de decisão por parte dos governantes. Com o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é possível realizar o mapeamento das áreas de risco, permitindo um melhor monitoramento, gerenciamento e planejamento ambiental e urbano da região, minimizando a ocorrência de possíveis acidentes e a geração de custos desnecessários. Desse modo, o uso dos SIGs como ferramenta de análise e identificação de áreas frágeis são fundamentais no planejamento urbano e ambiental.

Uma das motivações para o desenvolvimento deste trabalho consiste em verificar se as ZEIS definidas na Lei de Zoneamento de São Paulo, aprovada em 2016, atendem à um dos quesitos apresentados no Plano Diretor Estratégico (Lei 16.050), Art. 45:

“§ 1º Deverá ser evitada a demarcação de novas ZEIS nas áreas que apresentem risco à saúde ou à vida, salvo quando saneados, e em terrenos onde as condições físicas e ambientais não recomendem a construção.”

Apesar da lei estabelecer as condições mínimas para a demarcação das ZEIS, alguns dos empreendimentos para pessoas de baixa renda já executados nessas áreas localizam-se em áreas de risco. Devido a isso, problemas patológicos nas construções e casos de deslizamento seguido de mortes têm aparecido. O condomínio Bela Vista inaugurado em 2012 em São Gonçalo, Região Metropolitana do Rio é um caso recente de tal problemática, levando a morte de uma pessoa e deixando muitas famílias desabrigadas.

O mapeamento da fragilidade ambiental permite identificar áreas de alta fragilidade ambiental e, por conseguinte, impróprias para a ocupação. As ferramentas de Geoprocessamento permitem o desenvolvimento de mapas de fragilidade ambiental. Tendo esse panorama em mente, acreditamos ser importante investigar mais profundamente a relação entre as ZEIS e as áreas de alta fragilidade do município de São Paulo, bem como, propor a aplicação de métodos que possam ser utilizados como suporte à decisão no planejamento ambiental dessas áreas.

2 Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo principal elaborar mapas de fragilidade ambiental, por meio de uso de técnicas de geoprocessamento, que permitam avaliar a evolução da destinação de Zonas de Interesse Social em áreas de risco no município de São Paulo.

São ainda objetivos específicos desse trabalho:

- Levantar metodologias para o mapeamento das áreas de risco, em especial àquelas relacionadas à fragilidade ambiental;
- Desenvolver um mapa de fragilidade ambiental a deslizamento de massa, como ferramenta para o planejamento ambiental da área;
- Verificar o nível de fragilidade das áreas de ZEIS da antiga Lei de Zoneamento (2004), a partir do cruzamento do mapa de ZEIS com o mapa de fragilidade;
- Verificar o nível de fragilidade das áreas de ZEIS da revisada Lei de Zoneamento (2016), a partir do cruzamento do mapa de ZEIS com o mapa de fragilidade.
- Comparar e discutir a relação das Leis de Zoneamento antiga e revisada à luz das condições de fragilidade ambiental mapeadas.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 O município de São Paulo: uma cidade de contrastes

O município de São Paulo é a cidade mais populosa do país, com 11.253.503 habitantes (IBGE - 2010), e apresenta o maior PIB do Brasil, que é de R\$ 48275,45 per capita (IBGE – 2013). Desta população, cerca de um terço vive em favelas e loteamentos irregulares (IBGE – 2010), o que reflete uma paisagem de contrastes.

De acordo com a urbanista Raquel Rolnik (2001), esse cenário de desigualdade pode ser explicado pela história e escolhas de políticas públicas ineficientes ao longo dela. A história de São Paulo se inicia no século XVI, quando os bandeirantes desbravaram o território em busca de riquezas. No século XIX, com o cultivo de café, iniciou-se o desenvolvimento econômico da cidade. A partir do acúmulo de capital advindo do café, iniciou-se o processo de industrialização do país, e com isso a imigração para São Paulo. Foi nesse momento histórico que começou a se configurar a segregação na cidade, com territórios separados por atividades e grupos sociais. Nascia, com isso, uma cidade desigual e dividida.

Após a crise de 1920, houve um novo surto de industrialização, e em 1930 a população de São Paulo já alcançava seu primeiro milhão de habitantes, o que causou uma forte valorização em terrenos e habitações. Ainda assim, a Cia. Light, uma empresa de capital canadense que atuava no setor elétrico (geração e distribuição de energia) e de transporte público (no caso, o modal bonde), aumentou os investimentos no primeiro (que estava em alta com a crescente industrialização) e diminuiu investimentos no transporte público, que se mostravam menos rentáveis, agravando problemas com a população mais carente da cidade, que somado com somada à inflação geral, à escassez de produtos e à epidemia de gripe espanhola, gerou tensões sociais, políticas e econômicas.

Em consequência disto, houve mudanças na gestão urbana da cidade. Em 1924, o engenheiro Prestes Maia criou um plano de concepção urbanística, adotando um sistema de avenidas radio concêntricas, que não consideravam as singularidades geográficas das regiões (morros, áreas inundáveis e rios), e acabavam por permitir um crescimento indefinido para a cidade. Este plano só foi realizado em 1940, quando o engenheiro se tornou prefeito da cidade.

O modelo de transporte rodoviário permitiu a expansão horizontal da cidade, uma ocupação periférica, dispersa pelo território, com baixa densidade e falta de infraestrutura. As áreas periféricas careciam de uma legislação urbanística, que estipulasse padrões de ocupação. Contudo, também incentivou um novo surto industrial, desta vez, das indústrias metalúrgicas - metalomecânica, elétrica, automobilística e petroquímica. Nas décadas de 1960 e 1970, o crescimento populacional se intensificou ainda mais com o “milagre econômico” advindo do Regime Militar.

Foi apenas em 1972 que surgiu a primeira Lei de Zoneamento, que definia e restringia a forma de ocupação urbana da cidade. Entretanto, a lei incentivava a verticalização onde esta já estava ocorrendo, colocava as zonas industriais em áreas de várzea, e para o restante do território (70%) foi decretada uma zona de uso misto e baixa densidade de ocupação. Em 1981, a lei foi complementada com a permissão de construção de conjuntos habitacionais da Cohab em território na franja da cidade, com menor valor. Esse modelo aprofundou a segregação e exclusão territorial.

A partir da década de 1990, a antiga primazia do setor industrial da cidade foi superada pelo setor de serviços, principalmente o de tecnologia da informação, e à produção cultural e de informação. Essas mudanças se refletem na paisagem e ocupação de São Paulo. Junto a isso, surgiram investimentos em shoppings centers e hipermercados, que trouxeram uma desarticulação das redes de comércio e serviços já existentes, fragmentando o tecido urbano e social e, como consequência, formando uma cidade concentrada e polarizada.

Percebe-se, a partir do exposto, que São Paulo é uma cidade dividida entre ricos e pobres; e esse panorama tem grande influência das decisões de políticas urbanas tomadas ao longo de sua história.

3.2 Zonas de Interesse Social - ZEIS

A Constituição Federal de 1988 estabelece que a propriedade deve cumprir uma função social, e que o Plano Diretor deve estabelecer condições para que isso seja possível. Além disso, faz o direito à moradia um direito constitucional, evidenciado a partir dos seguintes parágrafos:

Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes: [...]

XXII - é garantido o direito de propriedade;

XXIII - a propriedade atenderá a sua função social; [...]

Art. 170. A ordem econômica, fundada na valorização do trabalho humano e na livre iniciativa, tem por fim assegurar a todos existência digna, conforme os ditames da justiça social, observados os seguintes princípios: [...]

II - propriedade privada;

III - função social da propriedade; [...]

Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§ 1º O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

§ 2º A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor. [...]

Para que as obrigações determinadas pela constituição fossem atendidas, em 2001, o Estatuto da Cidade (Lei 10.257/01) criou as ZEIS (Zonas Especiais de Interesse Social), instrumentos jurídicos e políticos do zoneamento urbano. Podemos definir ZEIS como “parcela de área urbana instituída pelo Plano Diretor ou definida por outra lei municipal, destinada predominantemente à moradia de população de baixa renda e sujeita a regras específicas de parcelamento, uso e ocupação do solo” (Lei Federal 11.977/09 – art. 47/V).

O início da história das ZEIS se deu com a experiência no bairro de Brasília Teimosa, no município de Recife. (Botler, Marinho, 1997, e Mourad, 2000), no qual surgiram as primeiras discussões com a preocupação de criar um mecanismo jurídico de cunho urbanístico para atender as áreas excluídas, realizando um zoneamento que incluísse assentamentos informais à malha urbana. Por meio destas discussões

construiu-se o Plano de Regularização das Zonas Especiais de Interesse Social (PREZEIS), Lei Municipal 14.497/87. Este prevê a implementação de um plano urbanístico para cada área demarcada como ZEIS, com a adequação dos projetos de urbanização às características de cada assentamento, previsão de regularização jurídica por meio de concessão do direito real de uso gratuito, e do usucapião e controle sobre processos de expulsão indireta dos moradores (apropriação das áreas beneficiadas pelos mercados de maior renda).

No estado de São Paulo, houve iniciativa semelhante na cidade de Diadema, com as AEIS (Áreas Especiais de Interesse Social), que abrangiam 3% do território. Estas áreas, que constituíam terrenos não edificadas, pouco ou nada aproveitados, seriam utilizadas para a implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social.

Apenas em 1999, no mandato de Fernando Henrique Cardoso, pela Lei Municipal 9.785/99, que surgiu o programa Habitar Brasil, o qual previa a implementação de projetos de urbanização de assentamentos subnormais, com a regularização fundiária, implementação de infraestrutura e recuperação ambiental. Também estava previsto que este processo fosse participativo, envolvendo a comunidade local em sua concepção e implantação.

A aprovação do Estatuto da Cidade (EC) - Lei Federal 10.257/01, a qual estabelece diretrizes para a Política Urbana Nacional, introduz os novos instrumentos com enfoque nos assentamentos precários e informais, como é o caso das ZEIS, instituindo estas como instrumentos de política urbana municipal.

Lei Federal 10.257/01

Art. 4º Para os fins desta Lei, serão utilizados, entre outros instrumentos: [...]

V – institutos jurídicos e políticos: [...]

f) instituição de zonas especiais de interesse social;

Em 2004, surge a Política Nacional de Habitação, a qual destaca o papel estratégico da política fundiária a ser implementada com os instrumentos do Estatuto da Cidade, como o parcelamento e edificação compulsórios e o IPTU progressivo e o estabelecimento de Zonas Especiais de Interesse Social-ZEIS.

Pode-se destacar também a criação do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (2005), o Plano Nacional de Habitação (2008), e a criação do Programa Minha Casa Minha Vida (2009).

Percebe-se assim que as ZEIS têm duas frentes: regularizar, do ponto de vista fundiário e urbanístico, os assentamentos informais já existentes e aumentar a produção de novas unidades habitacionais para a população de baixa renda. Assim, constituem porções do território destinadas, prioritariamente, à recuperação urbanística, regularização fundiária e produção de Habitações de Interesse Social – HIS ou do Mercado Popular - HMP, incluindo a recuperação de imóveis degradados, a provisão de equipamentos sociais e culturais, espaços públicos, serviço e comércio de caráter local.

Foi em 2002, pela Lei 13.430/02 (Plano Diretor Estratégico), que as ZEIS entraram para o planejamento urbano do município de São Paulo. Em 2004, pela Lei 13.885/04 (Parcelamento, uso e ocupação do solo) ela foi mais bem definida. Em 2014, o Plano Diretor Estratégico foi revisado, criando-se a Lei 16.050/14, e para que o Plano de Zoneamento se adequasse ao PDE, foi realizado um PL 272/15, a Nova Lei de Zoneamento da Cidade.

3.3 Mudanças na Antiga e Nova Organização Urbana em Relação às ZEIS

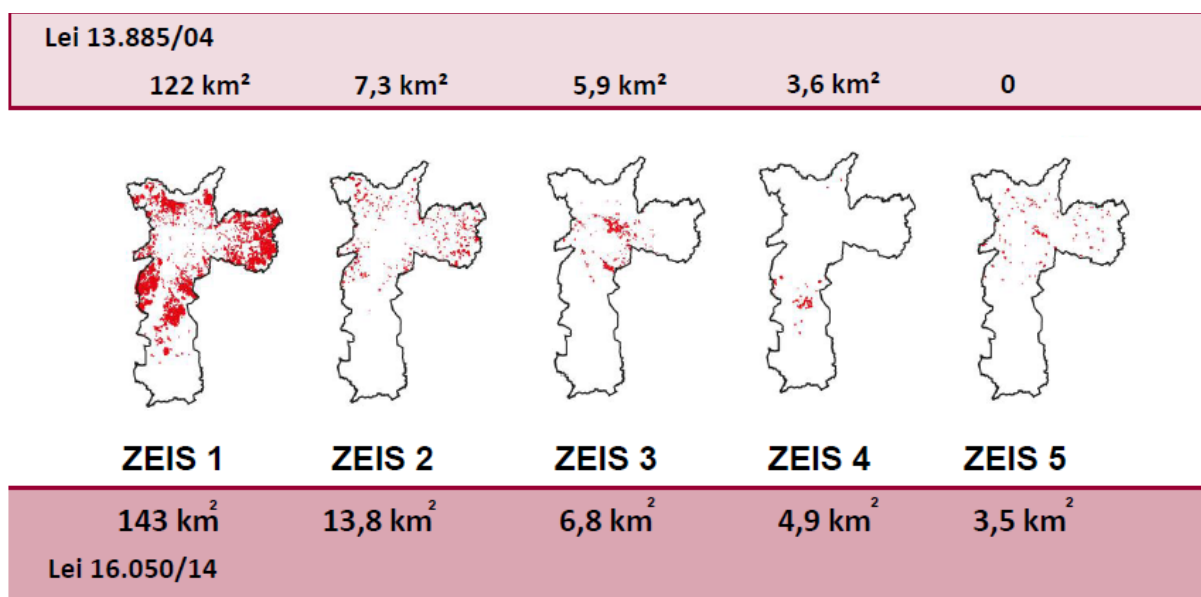
As Leis 13.885/04 (Lei de Parcelamento, uso e ocupação do solo- antiga) e Lei 16.050/14 (Novo PDE) têm diferenças significativas em relação às ZEIS.

3.3.1 Área Abrangida

Na Lei 16.050/14, as áreas de ZEIS foram aumentadas, considerando que as antigas áreas eram insuficientes para cobrir o déficit habitacional da cidade. Além disto, houve a preocupação de criar ZEIS em áreas centrais da cidade, como ilustrado na figura a seguir.

3.3.2 Definição de Habitação de Interesse Social - HIS

Figura 1 - Área das ZEIS nas Leis de 2004 e 2014.



Fonte: Prefeitura de São Paulo

A Lei 16.050/14 muda a definição de Habitação de Interesse Social, como visto na comparação entre os dois textos de lei:

Lei 13.885/04 - Artigo 2º, XXVI

Habitação de Interesse Social – HIS é aquela destinada a famílias com renda igual ou inferior a 6 salários mínimos ou com capacidade de pagamento a ser definido, promoção pública ou conveniada com o Poder Público, com padrão de unidade habitacional com um sanitário, até uma vaga de garagem e área útil de, no máximo, 50 m², com possibilidade de ampliação quando as famílias beneficiadas estiverem envolvidas diretamente na produção das moradias;

Lei 16.050/14 - Quadro 1

Habitação de Interesse Social – HIS é aquela destinada ao atendimento habitacional das famílias de baixa renda, podendo ser de promoção pública ou privada, tendo no máximo um sanitário e uma vaga de garagem, e classificando-se em dois tipos: a) HIS 1: destinada a famílias com renda familiar mensal de até R\$ 2.172,00 ou renda per capita de até R\$ 362,00; b) HIS 2: destinada a famílias com renda familiar mensal superior a R\$ 2.172,00 ou 362,00 per capita e igual ou inferior a R\$ 4.344,00 ou R\$ 724,00 per capita.

Tabela 1 - Mudança nas HIS pelas Leis 13.885/04 e Lei 16.050/14

| Parâmetro | Lei 13.885/04 | Lei 16.050/14 |
|------------------------|------------------------|---|
| Área Máxima da Unidade | 50 m ² | - |
| Promoção | Pública ou conveniada | Pública ou Privada |
| Renda Familiar | Até 6 salários mínimos | HIS1: até 2.172,00 reais HIS2: entre 2.172,00 e 4.344,00 reais |

3.3.3 Definição de Habitação de Mercado Popular- HMP

Há também a alteração da definição de Habitação de Mercado Popular-HMP, como veremos a seguir:

Lei 13.885/04 - Artigo 2º, XXVII

Habitação de Mercado Popular – HMP é aquela destinada a famílias com renda igual ou inferior a 16 salários mínimos ou capacidade de pagamento a ser definida em lei específica, de promoção pública ou privada, com padrão de unidade habitacional com até dois sanitários, até uma vaga de garagem e área útil de, no máximo, 70m² (setenta metros quadrados);

Lei 16.050/14 - Quadro 1

Habitação de Mercado Popular – HMP é aquela destinada ao atendimento habitacional de famílias cuja renda mensal seja superior a R\$ 4.344,00 e igual ou inferior a R\$7.240,00 com até dois sanitários e até uma vaga de garagem, podendo ser de promoção pública ou privada.

Tabela 2 - Mudanças nas HMP pelas Leis 13.885/04 e Lei 16.050/14

| Parâmetro | Lei 13.885/04 | Lei 16.050/14 |
|----------------|-------------------------|---------------------------------|
| Área Máxima | 70 m ² | - |
| Promoção | Pública ou privada | Pública ou privada |
| Renda Familiar | Até 16 Salários Mínimos | Entre 4.344,00 e 7.240,00 reais |

Percebemos que tanto nas HIS, quanto nas HMP, houve alteração na faixa de renda familiar dos beneficiados. Esta se deu pela valorização do salário mínimo nos últimos anos e também para que estas houvesse maior diálogo com o programa Minha Casa Minha Vida.

3.3.4 Nas classificações das ZEIS

Entre as Leis houve duas principais alterações. A mais relevante foi quanto a criação de uma nova área de ZEIS, que se trata da ZEIS 5, que são vazios urbanos com uma área ao redor com boa infraestrutura. Além disto, a ZEIS 4 agora só trata de áreas de proteção de mananciais, quando outrora também tinham terrenos de proteção ambiental. Podemos ver essas diferenças como esquematizado na tabela a seguir.

Tabela 3 - Comparação entre os diferentes tipos de ZEIS da Lei 13.885/04 e Lei 16.050/14

| Tipo de ZEIS | Lei 13.885/04 | Lei 16.050/14 |
|--------------|--|---|
| ZEIS 1 | Áreas ocupadas por favelas, loteamentos e conjuntos. | Idem. |
| ZEIS 2 | Lotes e glebas vazias. | Idem. |
| ZEIS 3 | Imóveis subutilizados, encortiçados, em áreas com toda infraestrutura. | Idem. |
| ZEIS 4 | Vazios em área de proteção ambiental ou proteção de mananciais. | Vazios em área de proteção de mananciais. |
| ZEIS 5 | Não existe. | vazios em áreas com boa infraestrutura. |

3.3.5 Zona Mista de Interesse Social e Zona Centralidade

A PL 272/15 institui as Zona Mista de Interesse Social (ZMIS) e da Zona Centralidade em ZEIS (ZC-ZEIS), ambas com o objetivo de estimular atividades econômicas em territórios com pouca oferta de emprego em relação ao número de moradores, por meio da fomentação dos usos mistos regularizando usos não residenciais existentes. Nestas áreas, o único uso residencial permitido é da população de baixa renda.

As ZMIS foram demarcadas somente em perímetros de ZEIS 1 envolvendo conjuntos habitacionais que foram regularizados e urbanizados, enquanto que as ZC-ZEIS foram demarcadas somente em lotes inteiros às vias internas às ZEIS 1, que permanecem irregulares e com a intensa presença de atividades comerciais, tendo a função de articular bairros e regiões da cidade. Ambos permitem inúmeros usos não

residenciais, sem o atendimento de produção mínima de HIS/HMP determinado para a ZEIS 1.

3.4 Construção do mapa de fragilidade

Na construção de obras de engenharia de infraestrutura é necessário se atentar ao Planejamento Ambiental. Este pode ser definido como um processo contínuo baseado na coleta, organização e análise sistematizada das informações, com o intuito de tomar decisões visando atingir metas tangíveis tanto para o uso de recursos naturais, quanto para a sociedade (Silva, 2004). Nele, o ambiente é interpretado do ponto de vista das questões humanas, quanto físicas e bióticas, indo além do planejamento físico, geotécnico, ou seja, territorial (Santos, 2004). A principal dificuldade do planejamento ambiental é a promoção das disciplinas e dos estudos individuais (Andreoli et al. 1999), com a integração de diversos fatores ambientais e a aquisição de uma abordagem holística (Moreira, 1999) e do princípio sistêmico (Strassert, 1999).

O geoprocessamento como ferramenta tecnológica que permite a manipulação, análise, simulação, modelagem e visualização de dados georreferenciados (Fitz, 2008), e o SIG, ferramenta de aquisição, manipulação, análise e representação em um banco de dados de informações georreferenciados (Fitz, 2008) são ferramentas úteis para o planejamento ambiental. Isto ocorre porque eles estão intimamente ligados com a questão espacial e dados ambientais, possibilitando a extração dos dados de interesse e avaliação integrada de um grande número de variáveis de forma simples (Costa, 2005). De acordo com Santos (2004), o SIG mostra-se eficiente no planejamento ambiental por três principais características: a eficiência (pela facilidade na coleta de informações e pela manipulação em massa de dados), a integridade (controle de acesso por múltiplos usuários) e a persistência (dados atualizados com frequência). A sua capacidade de correlacionar um grande número de informações permite uma visão mais integrada dos fatores e a obtenção de uma visão holística e sistêmica do ambiente.

Para esse trabalho decidiu-se aplicar uma das metodologias que usa as ferramentas do geoprocessamento e é útil para o planejamento ambiental: a fragilidade ambiental. Fragilidade está relacionado com fraqueza, delicadeza

(Michaelis, 1998). Pode-se relacionar este sentido com a definição dada por Ratcliffe (1971), que a descreve como uma medida da sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais, combinada com a exposição à ameaça que poderia perturbar o equilíbrio existente.

É essencial para o estudo do planejamento de infraestrutura de uma região os estudos referentes às fragilidades inerentes ao ambiente, uma vez que os conhecimentos de suas características permitem que se definam diretrizes para o espaço físico e territorial, servindo como subsídio do planejamento territorial (Spörl, 2004). Assim, as técnicas de geração de mapas avaliam a fragilidade, de maneira a identificar áreas mais e menos suscetíveis à erosão (Spörl, 2007). Ações humanas têm acelerado a erosão do solo, trazendo danos para a sociedade, como a poluição de água, perda de solos férteis, assoreamento de rios e reservatórios e até mortes.

Para o estudo da fragilidade ambiental em uma dada região, tem-se três principais metodologias propostas, que se baseiam na inter-relação dos elementos do meio físico: 1) análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados, com apoio nas classes de declividade (Ross, 1994); 2) análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados, com apoio nos índices de dissecação do relevo (Ross, 1994); 3) análise da vulnerabilidade natural à perda do solo (Crepani, 2001). O mapeamento da fragilidade por meio destes métodos permite que separemos o terreno em áreas mais suscetíveis e menos suscetíveis.

Os estudos se baseiam na análise feita por Tricart (1977), o qual nos introduz ao conceito de Unidades Ecodinâmicas, no qual o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria dos Sistemas, analisando de forma integrada atributos tais como o relevo, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal, solo e pluviosidade. Assim, os fenômenos interdependentes permitem que o conjunto dessas propriedades tenham características próprias. Sob essa ótica, o processo erosivo é um processo da quebra destes mecanismos de interdependência entre componentes físico-bióticos.

De acordo com Tricart (1977), pode-se distinguir os meios morfodinâmicos como: meios estáveis (aqueles que o meio evolui de forma gradual, mantendo um equilíbrio entre processos pedogenéticos e morfológicos); meios intergrades (uma forma intermediária entre o estável e o instável) e meios fortemente instáveis (com forte predominância de processos morfogênicos, com rápida alteração do meio físico).

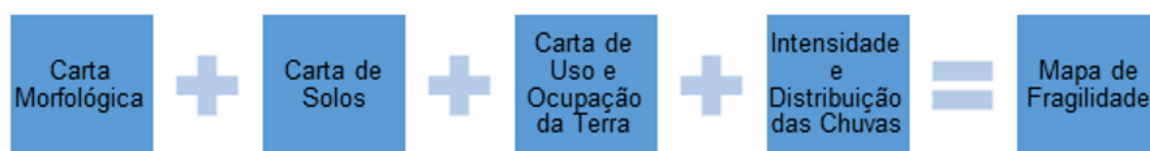
Ross (1994), baseado em Tricart (1977), detalhou a nomenclatura em Unidades Ecodinâmicas Estáveis, e Unidades Ecodinâmicas Instáveis. O primeiro se refere ao equilíbrio dinâmico que foi poupado da ação humana, estando no estado natural. O segundo se refere às intersecções antrópicas que modificaram intensamente o ambiente natural. Ele separa a instabilidade em cinco níveis, muito forte (5), forte (4), médio (3), fraco (2) e muito fraco (1). Para o diagnóstico das diferentes categorias, é feita a análise empírica da fragilidade considerando produtos cartográficos da geomorfologia, pedologia, climatologia, uso da terra/cobertura do solo e o índice de dissecação do relevo ou as classes de declividade.

O modelo de fragilidade com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo define as variáveis: índice de dissecação do relevo, classes de solos, grau de proteção dos solos pela cobertura vegetal e pluviosidade; que devem ser hierarquizadas de acordo com os graus de instabilidade. A classificação de fragilidade é dada por meio da composição dos quatro algarismos, como por exemplo 1111, sendo o primeiro algarismo para a primeira variável citada (índice de dissecação), o segundo algarismo para a segunda, e assim por diante. Por meio desta técnica, a variável que determinará a fragilidade de uma área será o índice de dissecação do relevo, e as demais terão a função de hierarquizar os graus de fragilidade.

O modelo de fragilidade com apoio nas classes de declividade deriva do primeiro modelo proposto, contudo, ao invés de utilizar os índices de dissecação do relevo, utilizam-se as classes de declividade.

Spörl (2001) definiu os passos da elaboração do mapa de fragilidade de Ross, que foram interpretados e esquematizados na Figura 2.

Figura 2 - Construção do mapa de fragilidade na Metodologia de Ross



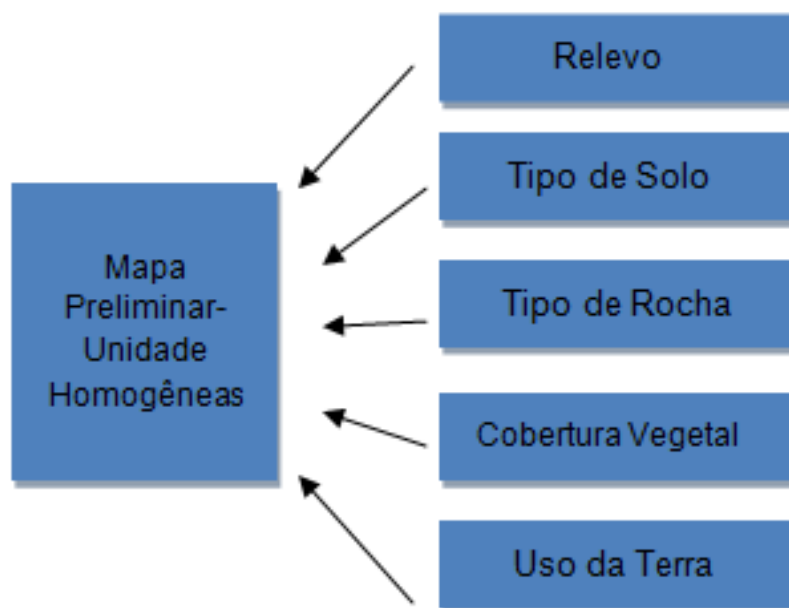
Fonte: Elaboração própria a partir dos estudos de Spörl (2001)

O modelo proposto por Crepani (2001), da análise da vulnerabilidade natural à perda do solo, surgiu com o intuito de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico

da Amazônia. Também se baseando nas teorias de Tricart (1977), fundamenta-se na relação dos processos de formação do solo e dos ecossistemas de forma conjunta.

Spörl (2001) também definiu os passos para gerar o mapa de fragilidade ambiental de acordo com Crepani, como esquematizado na Figura 3.

Figura 3 - Construção do mapa de fragilidade pela Metodologia de Crepani



. Fonte: elaboração própria a partir dos estudos de Spörl (2001)

As Unidades Homogêneas, também conhecidas como Unidades Territoriais Básicas (UTBs) são aquelas obtidas por meio do mapa preliminar, que consiste na análise e interpretação de imagens de satélite, considerando diferentes padrões formados por cores, texturas, formas, drenagem e relevo. A partir disto, se associam as demais variáveis às Unidades Homogêneas para caracterizá-las, classificando o grau de fragilidade ou estabilidade de cada região em uma escala de 1 a 3, podendo ter como escala de vulnerabilidade: muito baixa (1-1,4); baixa (1,4-1,8); média (1,8-2,2); forte (2,2-2,6) e muito forte (2,6-3,0).

A estabilidade ou vulnerabilidade ao processo de erosão das unidades de paisagem é feita pela análise das seguintes variáveis: rochas, solo, relevo, vegetação e clima. Cada uma é ponderada de 1 (estável) à 3 (instável). Ao final do processo, cada unidade territorial básica recebe um valor referente ao seu grau de vulnerabilidade. Este valor é a média aritmética das variáveis.

Percebemos que as principais diferenças entre os modelos propostos estão na importância e peso de cada variável de fragilidade, sendo que nos modelos adotados por Ross, a declividade do terreno tem um impacto soberano sobre a fragilidade ou não do terreno, enquanto que no modelo proposto por Crepani todas as variáveis apresentam pesos semelhantes. Cabe ao analista responsável ponderar qual o método mais coerente no contexto aplicado. A tabela proposta por Christiane Spörl (2001) (Tabela 1) mostra os procedimentos adotados em cada um dos modelos.

Tabela 4 - Comparação dos métodos de Crepani (96) e Ross (94). Fonte: Spörl (2001)

| Metodologias | Índices de Dissecação do Relevo (ROSS, 1994) | Classes de Declividade (ROSS, 1994) | UTBs (CREPANI, 1996) |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------|
| Variáveis | | | |
| Índices de dissecação do relevo | X | | X |
| Declividade | | X | |
| Solos | X | X | X |
| Cobertura Vegetal | X | X | X |
| Rochas | | | X |
| Clima | X | X | X |

Para esse estudo, utiliza-se uma adaptação dos conceitos apresentados por Ross (1994) e Crepani (1996).

Na busca da metodologia com maior aderência ao esse estudo de caso, foi realizado um levantamento de vinte artigos técnico-científicos sobre a elaboração de mapas de fragilidade ambiental. Nesses estudos foram mencionadas diversas variáveis, como: a classe de solo, a declividade, a proximidade de nascentes, a cobertura vegetal e a cobertura de solo, a geologia, a distância entre interflúvios, a

amplitude altimétrica, a pluviometria, a geomorfologia, Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

As variáveis mais citadas foram: cobertura do solo e vegetal (encontradas em dezesseis dos vinte estudos), classe de solo (doze dos vinte artigos) e declividade (onze dos vinte). Além destes, encontramos em sete, dados pluviométricos e geologia.

Desta análise, definiu-se a metodologia do trabalho que será apresentado no capítulo 4.

4 Metodologia

4.1 Levantamento de dados

Para construção dos mapas foi necessário a aquisição de dados, assim sendo, foram utilizadas 4 cenas do satélite Landsat-8 (OLI) referentes ao ano de 2015 disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, do inglês *United States Geological Survey*). As imagens selecionadas correspondem às órbitas / ponto: 219/075 - 219/076 (São Paulo), 219/077 (Santos), e 220/076 - 220/075 (Sorocaba/Campinas). Como critério de seleção das imagens foram obtidas apenas imagens com qualidade superior ou igual a 9 (i.e., sem erros detectados - USGS, 2015) e cobertura de nuvens inferior a 15% (Anexo A). A composição dessas áreas pode ser chamada de Macrometrópole Paulista.

Para a delimitação das regiões foi utilizado o dado vetorial dos limites dos municípios do Estado de São Paulo disponibilizados pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

As imagens de satélite selecionadas foram importadas em formato .geotiff no software Quantum GIS 2.8.1 (Datum horizontal: WGS84), nas bandas 4, 3 e 2 para o Landsat-8.

Cenas do satélite Landsat-8 foram utilizadas diretamente sem a necessidade de fazer o processo de georreferenciamento, pois a agência Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA, do inglês National Aeronautics and Space Administration), juntamente com a USGS, realiza alguns processamentos padrão para a disponibilização das cenas, ortorretificação, fato que dispensa o trabalho de correção geométrica para os usuários (USGS, 2013).

4.2 Fluxograma de trabalho

No Trabalho de Formatura 1 (TF1) abordamos elaboramos o mapa de fragilidade para áreas de risco de deslizamento que se inicia na criação dos mapas de uso e ocupação do solo e de compartimentação do relevo e pluviosidade para assim obter o mapa de fragilidade. Este mapa é então analisado e dentre as diversas regiões caracterizadas como “alta fragilidade”.

A Figura 4 mostra o fluxograma de atividade utilizado na primeira etapa do trabalho.

Figura 4 - Fluxograma de atividade na primeira etapa do trabalho.

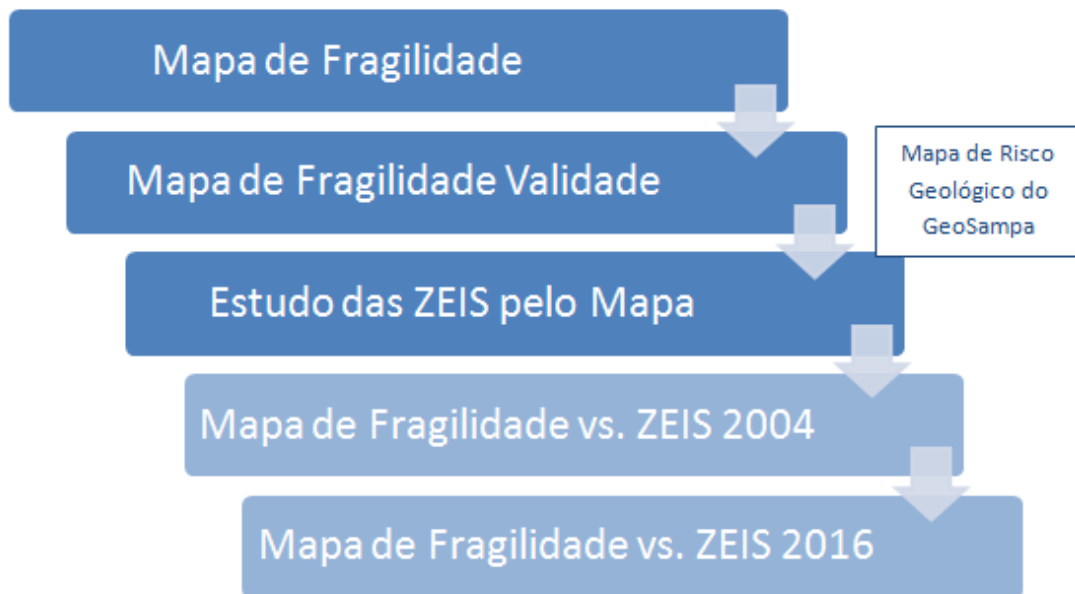


No Trabalho de Formatura 2 (TF2), avaliou-se a metodologia da elaboração do mapa de fragilidade ambiental realizado na primeira etapa. Foi realizado por meio da comparação com o mapa gerado com o de Risco Geológico, elaborado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e disponibilizado pelo GeoSampa. Assim, a metodologia proposta neste trabalho poderá ser utilizado em outras regiões que necessitem do estudo de fragilidade ambiental para seu planejamento.

Após verificada a aderência, utilizamos o mapa para analisar as áreas de ZEIS, tanto do zoneamento antigo (2004), quanto do novo (2016), e realizando uma comparação entre elas. Desta forma, foi estudada a porcentagem de áreas de cada ZEIS que pertencem a áreas de fragilidade ambiental.

A figura 5 mostra o fluxograma de atividade utilizado na segunda etapa do trabalho.

Figura 5 - Fluxograma de atividades na segunda etapa do trabalho



4.3 Mapa de uso e ocupação do solo

A classificação da cobertura do solo foi realizada, com auxílio do software ENVI 5.3 (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado), a partir das imagens pré-processadas. Para a execução da classificação supervisionada, foram coletadas 65 amostras de cada classe: corpos d'água, áreas agrícolas heterogêneas, vegetação natural, solo exposto, áreas urbanas e nuvens definidas de acordo com dois primeiros níveis da topologia CORINE (Bossard *et al.*, 2000).

Em seguida, aplicou-se o Índice Normalizado de Diferença de Áreas Construídas (NDBI, do inglês *Normalized Density Building Index*, Zha *et al.*, 2003), com o objetivo de melhorar a separabilidade entre as classes de solo exposto e a área urbana. Este índice é baseado no incremento do número digital das áreas construídas (*i.e.*, áreas urbanas) nos intervalos da banda 2 e 6 do OLI (*i.e.*, definidas a partir dos perfis espectrais das classes, Zhou *et al.*, 2014). Para a construção do NDBI a seguinte fórmula é utilizada:

$$NDBI = (OLI_6 - OLI_2) / (OLI_6 + OLI_2)$$

Onde:

OLI_6 = infravermelho médio/ISWIR;

OLI_2 = banda do azul.

Posteriormente, foi aplicado o algoritmo *Support Vector Machine* (SVM) nas imagens empilhadas, utilizando-se as classes definidas supracitadas, com auxílio do software ENVI 5.3 (*Exelis Visual Information Solutions*, Boulder, Colorado). Dentre as funções de Kernel disponíveis no SVM, a de base radial foi utilizada por ter apresentado bons resultados em outros trabalhos (Melgani & Bruzzone, 2004). O desempenho da classificação foi avaliado por meio da matriz de confusão, do coeficiente Kappa e dos erros de omissão e comissão.

Os algoritmos de aprendizagem de máquina (SVM) objetivam a determinação de limites de decisão que promovam uma separação ótima entre classes por meio da minimização dos erros (Vapnik, 1995). Neste contexto, o SVM, introduzido por Vapnik (1995), através da teoria estatística de aprendizagem, consiste em uma técnica computacional de aprendizado para problemas de reconhecimento de padrão. Recentemente, a técnica SVM tem sido empregada na área de sensoriamento remoto com relativo sucesso (Brown et al., 2000; Melgani & Bruzzone, 2004). Em adição, estudos mais recentes que usaram o método do SVM (e.g., Huang et al., 2002; Foody & Mathur, 2004; Pal & Mather, 2005).

Tabela 5 - Resumo da Matriz de Confusão.

| Ponto / Orbita | 219/077 | 220/075 | 220/076 | 219/076 | Médias |
|--|---------|---------|---------|---------|--------|
| Acurácia Geral | 87.46% | 98,36% | 67,47% | 90,72% | 0,86 |
| Índice Kappa | 0.6812 | 0,9729 | 0,5215 | 0,8304 | 0,77 |
| Erro de Omissão (Vegetação Florestal) % | 0.24 | 0 | 20,6 | 0,03 | 6,88 |
| Erro de Comissão (Vegetação Florestal) % | 5.3 | 3,63 | 20,51 | 10,34 | 11,49 |
| % acerto para Vegetação Florestal | 99.76 | 96,37 | 79,49 | 99,97 | 91,94 |
| Erro de Omissão (Água / Sombra) % | 0,07 | 1,74 | 67,22 | 0 | 17,26 |
| Erro de Comissão (Água / Sombra) % | 0,3 | 0,68 | 38,94 | 8,29 | 12,05 |
| % de acerto para Água / Sombra | 99,93 | 99,32 | 61,06 | 91,71 | 88,01 |
| Erro de Omissão (Não Vegetação) | 91,6 | 1,97 | 85,87 | 77,06 | 64,13 |
| Erro de Comissão (Não Vegetação) | 1,93 | 0,14 | 91,68 | 0 | 23,44 |
| % de acerto para Não Vegetação | 8,4 | 99,86 | 8,32 | 100 | 54,15 |

4.4 Mapa de Compartimentação do relevo

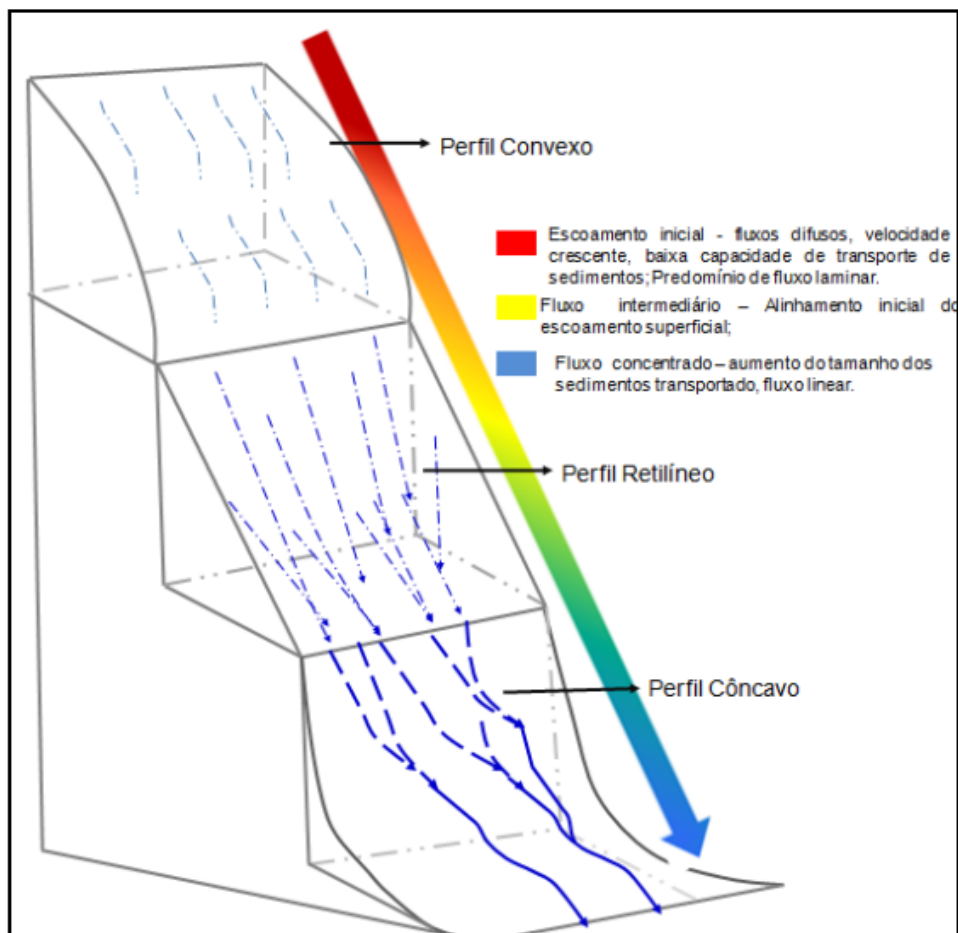
Na literatura (Lucena, 1998; Ferreira et al., 2011) são descritas as definições das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), que correspondem às células básicas para a análise geotécnica e geoambiental (Vedovello, 2000). De maneira geral, essas células traduzem a dissecação do relevo, ou seja, ela é uma combinação entre a rugosidade topográfica, declividade e forma das vertentes. Vedovello e Mattos (1993) propuseram uma metodologia utilizando imagens de satélite para a compartimentação fisiográfica e caracterização geotécnica, a qual consiste na interpretação da imagem (seja ela de satélite ou de fotografia aérea) considerando diferenças da homogeneidade, entropia, assimetria de texturas e assimetrias de tons. Com isso conseguimos integrar características ecológicas, socioeconômicas, de cobertura do solo, entre outras (Spörl & Ross, 2004).

Manfré (2015) retirou os dados para a área de estudo do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obtendo os dados interpolados do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Nestes dados utilizou o modelo da Análise Baseada em Objeto (OBIA, do inglês, Object Based Image Analysis) e o auxílio do programa eCognition Developer 8 Trimble (2011).

Manfré (2015), adaptando os estudos de Dragut e Eisank (2012), realizou um pré-processamento segmentando a imagem para a diminuir as distorções da forma podendo estudar de maneira mais pura o relevo. Conseguindo obter seu objeto de estudo, ele classificou-o baseando-se na declividade e na curva horizontal (concavidade do terreno). Assim, a imagem foi classificada em áreas de alta declividade de feição côncava (divergente), áreas de alta declividade de feição convexa (convergente), áreas de média declividade de feição côncava (divergente), áreas de média declividade de feição convexa (convergente), áreas de baixa declividade de feição côncava (divergente) e áreas de baixa declividade de feição convexa (convergente). De acordo com Bigarella (2003) e Silva Neto (2014), com essas informações temos indicativos do escoamento superficial, como pode ser observado na Figura 6, além de avaliar padrões erosivos, em que as áreas convergentes estão mais susceptíveis a erosão que as divergentes, também podemos estudar o direcionamento do fluxo de água, na qual, de acordo com Bloom (1970),

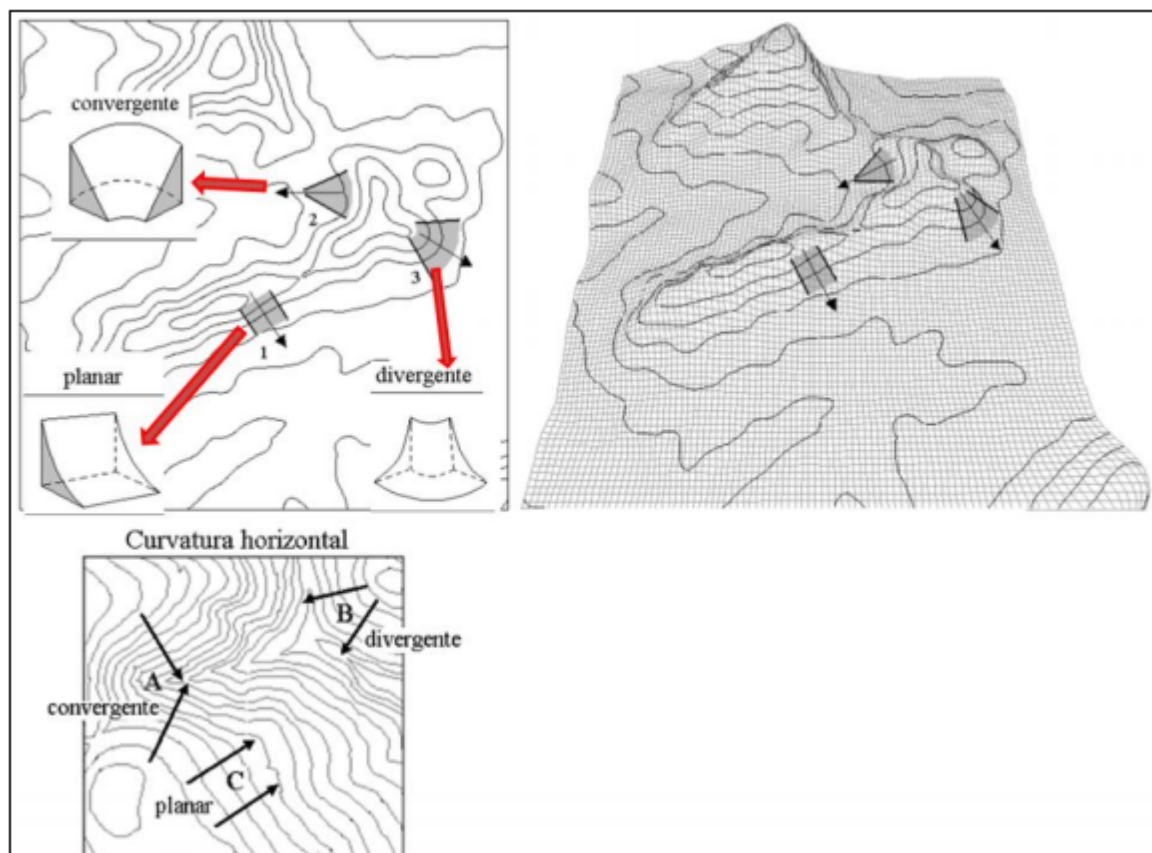
temos áreas “coletoras de água” (horizontais convergentes) e “distribuidoras de água” (horizontais divergentes) (Figura 7).

Figura 6 Relação dos fluxos de água conforme as feições da vertente.



Fonte: Silva Neto (2014).

Figura 7 - Representação da curvatura horizontal das vertentes.



Fonte: Valeriano e Albuquerque (2010).

4.5 Mapa Pluviométrico

As informações climatológicas, especialmente aquelas relacionadas às precipitações, também constituem um fator de grande relevância para a análise da fragilidade ambiental, na medida em que estas exercem ação direta na dinâmica da paisagem ambiental (o produto final da interação chuva/solo é uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão).

Para a elaboração do mapa pluviométrico, técnicas de interpolação espacial foram utilizadas. Estas consistem em processos que utilizam os pontos com valores conhecidos para estimar os valores em outros pontos que carecem de informações.

Os dados utilizados como valores conhecidos foram as normais mensais da precipitação dos pontos de medições. Estas foram estimadas a partir da série histórica – (1945 a 2015) das precipitações diárias referentes aos postos pluviométricos da região estudada, separados por Unidades de Gerenciamento de Recurso Hídricos – UGRHI. A série histórica utilizada foi obtidas junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE.

Todos os procedimentos geoestatísticos foram operacionalizados no software ArcGis 10.3.

O método utilizado para interpolação dos dados foi o Inverso do peso da distância (do inglês, *Inverse Distance Weighted* - IDW), o modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma atribui maior peso para as amostras mais próximas do que para as amostras mais distantes do ponto à ser interpolado. (VARELLA, 2000). O peso da distância é ajustado por um expoente, ou seja, quanto maior expoente, maior a influência da distância.

Os dados de precipitação também foram interpolados, utilizando-se os algoritmos Spline e vizinho natural, porém os resultados provenientes do uso do algoritmo IDW foram mais satisfatórios.

Segundo Varella (2000), a técnica de interpolação Spline foi originada de uma técnica de desenho arquitetônico em que se usa um barbante flexível — chamado spline— para desenhar uma curva contínua que é usada para intercalar um conjunto de pontos, podendo ser reta (linear), quadrática ou cúbica. É uma ferramenta que

utiliza um método de interpolação que estima valores utilizando uma função matemática que minimiza a curvatura global da superfície, o que resulta em uma superfície suave/lisa que passa exatamente pelos pontos de entrada.

Ainda segundo o autor, o vizinho natural é o mais simples dos interpoladores, apenas usa o valor do ponto mais próximo conhecido e aplica-se pesos baseados nas áreas proporcionais e chegam em um valor interpolado (VARELLA, 2000).

4.6 Mapa de Fragilidade do Terreno

O mapa de fragilidade da cidade de São Paulo foi produzido utilizando-se o mapa de uso e ocupação do solo de 2015 (autoria própria), associado ao mapa de compartimentação do relevo adaptado de Manfre et al (2015). Os graus de fragilidade adotados para identificação das áreas prioritárias consistiram em uma adaptação da metodologia proposta por Ross (1994) e Crepani *et al.*, (1996), apresentada na Tabela 7.

Tabela 6 - Graus de fragilidade adotados para identificação das áreas, adaptado da metodologia proposta por Ross (1994) e Crepani (1996).

| Variáveis topográficas utilizadas na compartimentação e respectivos valores de fragilidade atribuídos. | | | | |
|--|----------|------------------------|----------|-------------|
| Declividade | Valores* | Curvatura horizontal | Valores | Fragilidade |
| Baixa | <8% | Convergente/divergente | <0 ou <0 | 1 |
| Média | 8 - 20% | Divergente | >0 | 2 |
| Média | 9 - 20% | Convergente | <0 | 3 |
| Alta | >20% | Convergente/divergente | <0 ou <0 | 4 |

| Classes de cobertura do solo e respectivos valores de fragilidade atribuídos. | |
|---|-------------|
| Classe | Fragilidade |
| Vegetação | 1 |
| Áreas agrícolas heterogêneas | 2 |
| Áreas urbanas | 3 |
| Solo exposto | 4 |

| Valores finais da combinação da compartimentação do relevo e cobertura do solo e níveis de fragilidade ambiental parcial atribuídos. | |
|--|-----------------|
| Valor final | Nível atribuído |
| 1 | Baixa |
| 2 | Média |
| 3 | Alta |
| 4 | Muito alta |

Diversos estudos (e.g., Bigarella, 2003, Silva *et al.*, 2007, Silva Neto, 2014) destacam que as forças erosivas do escoamento aumentam com a declividade do relevo e com a presença de vertentes convergentes, em razão da convergência de fluxos que aceleram os processos de erosão do solo e do deslizamento entre as partículas de diferentes materiais.

Em adição, Rehman *et al.* (2015) destacam em seu trabalho o papel da cobertura do solo em influenciar os processos erosivos, em especial em áreas associadas à declividades acentuadas.

Vários trabalhos (e.g., Gordon *et al.* 2008; Uhlirova & Podhrazska, 2007; Saco *et al.*, 2007; Hejduk & Kasprzak 2004, 2005) apontam que a proteção do solo, por meio da manutenção e recuperação da cobertura vegetal, constitui o princípio básico de contenção da sedimentação aquática e, em adição, favorece o aumento das taxas de infiltração, diretamente relacionadas à recarga hídrica.

4.7 Mapa do Zoneamento município de São Paulo

O mapa de zoneamento do município de São Paulo do ano de 2004 e 2016 foram adquiridos por meio de download do portal chamado de Geosampa (<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/>). Neste portal é possível encontrar informações públicas detalhadas e georreferenciadas sobre o município de São Paulo, como por exemplo, a topografia, os limites administrativos, subprefeituras, população, indicadores sociais, infraestrutura urbana, recursos naturais, meio físico, acessibilidade, entre outros. A plataforma permite a qualquer cidadão o acesso aos mapas e informações territoriais. É um dos principais sistemas de informação da Prefeitura Municipal de São Paulo. Os arquivos no formato shapefile (shp.) foram baixados e cruzados com o mapa de fragilidade (autoria própria) gerado com o auxílio do software ArcGis 10.3 a fim de comparação. Foi considerado as ZEIS 2, 3, 4 e 5. Para essa comparação não foram levados em consideração as ZEIS 1, pois essas são áreas já ocupadas por favelas, loteamento e conjuntos, tendo como principal finalidade a urbanização destas áreas e não a alocação de população de baixa renda. A base legal da ZEIS vem da Constituição Federal 1988 entretanto os municípios podem definir essas áreas e como dividir essas. Os dados são apresentados mais adiante.

4.8 Geração de dados dos mapas

4.8.1 Avaliação do Mapa de Fragilidade

O mapa de fragilidade (MF) gerado a partir dos mapas de pluviosidade, uso e ocupação do solo e compartimentação do relevo, indica a intensidade da fragilidade da região do município de São Paulo, dividido em nenhuma, baixa, média alta e muito alta fragilidade. Com o intuito de validar a qualidade do mapa, foi realizada uma comparação de seus resultados com o mapa de risco geológico (MRG) disponibilizado no site do GeoSampa.

O MRG é caracterizado por polígonos que representam áreas de risco ao solapamento e ao deslizamento de terra, porém sem qualificar cada região quanto à intensidade do risco. Apesar de estarem em escalas diferentes, o cruzamento dos mapas observando-se as restrições do mapa de pior escala permitem uma avaliação

geral da compatibilidade entre as informações mapeadas, como se explicará mais adiante. Um outro ponto importante é que MRG associa o risco a solapamento ou deslizamento as áreas de ocupação humana, ao passo que MF abrange as condições naturais do terreno que favorecem o deslizamento sem, no entanto, distinguir as áreas ocupadas que implicam em risco, nem identificam o perigo, a probabilidade de ocorrência do evento, associado. Desse modo, a validação levou em consideração somente as regiões englobadas por MRG, objetivando-se analisar se as áreas de MF equivalentes de MRG eram caracterizadas por regiões de média a muito alta fragilidade.

Para realizar a verificação utilizou-se o software ArcMap 10.3 para obter o mapa final de análise e o software MS Excel para a criação de gráficos e indicadores dos resultados.

4.8.1.1 Cruzamento de MF e MRG

Inicialmente projetou-se ambos os mapas em coordenadas UTM e sistema de referência WGS 84 23S. Definidos os sistemas de projeção, foi possível fazer o recorte do MF com o mesmo formato do MRG através da ferramenta “CLIP”, utilizando-se MRG como “molde” para MF. Tal operação resultou no mapa Mapa de Verificação (MV). Pode-se observar que MV mantém as mesmas características de MF e, portanto, classifica cada uma de suas zonas em intensidades de fragilidade variando de nenhuma a muito alta fragilidade assim como MF. Foi então calculada a área de cada uma dessas regiões. A tabela de atributos de MV foi então exportada para o MS Excel para que fossem feitas análises dos resultados obtidos no novo mapa.

4.8.1.2 Análise dos resultados de MV – no cap. 5 será apresentado os resultados

Da tabela de atributos exportada do ArcMap foram retirados os dados referentes às áreas de cada polígono classificado entre nenhum a muito alta fragilidade. Desse modo, obteve-se as áreas totais, em km², de cada intensidade de fragilidade de A0, indicando nenhuma fragilidade até A4, muito alta fragilidade, como pode ser observado pela tabela 7 pg. 49. Foi ainda gerado um gráfico de frequência (gráfico 1 pg. 50) na qual pode-se analisar mais facilmente a representatividade de cada intensidade de fragilidade em relação a área total de MV. Levando-se ainda em consideração a diferença de escalas entre MF (1:50000) e MRG (1:2000) e aplicando-

se a metodologia de compatibilização de áreas que será discutida mais adiante, chegou-se num valor raio de 25m e área mínima de 1963,5m². Ou seja, serão levadas em consideração somente as áreas de polígonos que forem maiores ou iguais a área mínima, referente a escala menos detalhada analisada.

Mapas de fragilidade x zoneamento

Os mapas de fragilidade x zoneamento de 2004 (MFZ 2004) e de fragilidade x zoneamento de 2016 (MFZ 2016), bem como seus dados, foram gerados com a mesma metodologia descrita na avaliação do mapa de fragilidade. O mapa de fragilidade foi novamente usado como “base” e como “molde” foram utilizados dessa vez os mapas do zoneamento de 2004 (contendo as ZEIS 2, 3 e 4) e do zoneamento de 2016 (contendo as ZEIS 2, 3, 4 e 5), disponibilizados no site do GEOSAMPA, resultando nos mapas MFZ 2016 e MFZ 2004, respectivamente.

Como havia incompatibilidade de escala entre MF e os “mapas de molde”, utilizamos novamente a metodologia de área mínima.

4.9 Discussão da questão da escala

No Brasil existe um decreto número 84.817 de 20 de junho de 1984 que estabelece as instruções regulatórias das normas técnicas cartografia Brasileira através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no território brasileiro, criando assim o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, e uma classificação das cartas em classe A, B e C.

Os padrões da PEC são;

1- Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao padrão de exatidão cartográfica, planimétrico estabelecido.

2- Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico, estabelecidos. Presidência da República Casa Civil Subchefia Para Assuntos Jurídicos (1984).

Entretanto essa PEC foi gerada em uma época onde quase não existia computadores, poucas eram as experiências registradas nessa área, segundo

Dalmolin e Leal (2001), o PEC não apresenta diretrizes para avaliação de trabalhos hoje ofertados pela cartografia digital, visto que no decreto, não está descrito procedimentos para avaliação cartográfica digital.

Essa falta de normatização faz com que as organizações produtoras de dados georreferenciados sigam regras que melhor se adaptam aos seus sistemas. Dessa forma temos como resultado um ambiente heterogêneo, onde cada organização tem sua maneira de tratar a informação espacial.

As características que afetam a qualidade dos dados geográficos podem ser agrupadas segundo Aro (89), em três categorias: componentes de nível macro, componentes de nível micro e componentes de uso.

Os componentes do nível macro – completude, atualidade e linhagem – consideram dados usando um nível de abstração alto, e tem uma especificação subjetiva. São definidos a partir de exame manual (no caso da completude) ou através de relatórios sobre a obtenção dos dados (no caso da atualidade e linhagem).

Os componentes de nível micro faz referência com dados individuais e são normalmente avaliados por testes estatísticos confrontados a uma fonte independente de informação de maior qualidade comprovada. Este grupo inclui: precisão posicional, precisão de atributo, consistência lógica e resolução.

Finalmente, os componentes de uso são aqueles que dizem respeito aos recursos de uma organização particular, indicando a adequação dos dados a uma outra organização ou aplicação. Neste grupo podem ser incluídos vários componentes dentre os quais acessibilidade e custo.

Verifica-se que o Decreto 89.817 que estabelece normas que regulamenta e classifica os documentos cartográficos quanto à exatidão, PEC, é aplicado da mesma maneira independentemente de o produto ser analógico ou digital. Neste decreto, entretanto, não existem definições sobre definição do tamanho da amostra para os testes de campo; dúvida quanto à análise individual das componentes planimétricas (N, E) ou composição das mesmas; aplicação dessas normas para os produtos digitais; indicação do tratamento estatístico que melhor se adapta à estimativa da exatidão e precisão.

A falta destas informações deixa espaço para diversas interpretações e aplicações de testes estatísticos para o enquadramento do PEC. O IBGE está

trabalhando para apresentar uma proposta de revisão e atualização da legislação e das normas em vigor, através de um grupo de trabalho denominado de GT6. Esse grupo é formado por membros do IBGE, DSG, Universidades, empresas públicas e privadas, e tem por objetivo tornar a legislação e as normas cartográficas mais aplicáveis e compatíveis com os atuais avanços tecnológicos. Esse mesmo grupo, analisando o Decreto Lei 243 e o Decreto Lei nº 89.817, chegou à conclusão que devem ser criadas normas, especificações, e padrões de qualidade para serem aplicados a cartografia digital.

No Brasil, tratando de termos de controle de qualidade de produtos cartográficos, os padrões diferem dos internacionais, nossas organizações não têm tradição neste tipo de procedimento e historicamente desenvolveram uma cartografia norteada pelos métodos analógicos tradicionais.

Sejam de forma analógica ou digital é indispensável à implantação de procedimentos de fiscalização, supervisão, acompanhamento e principalmente criação de um sistema de controle e revisão de todas as etapas e fases do processo de elaboração dos produtos cartográficos.

O mapa de fragilidade do trabalho está em uma escala de 1:50000 já o do zoneamento 1:2000. Visto essa diferença foi levantado a possibilidade que possa ter havido um problema de generalização excessiva, que não contempla a realidade do local.

Antes de adentrarmos em qualquer tipo de discussão relacionada à escala, se faz necessário de antemão compreender o próprio conceito em análise, ou seja, o conjunto de ideias, objetos e valores que fazem com que nossa mente crie uma imagem do que seja a escala. O conceito mais corriqueiro atribuído a este instrumento, diz respeito a seu caráter intrínseco à cartografia, como “uma linha dividida em partes iguais e colocada no rodapé de um mapa, de um desenho ou de uma planta” (LEPETIT, 1998, p. 89).

Como uma ferramenta de representação da realidade, a escala, através do mapa - ou de qualquer outro meio de reconstrução reduzida do mundo real-, tem um papel fundamental no delineamento da pesquisa. “Se não recorrêssemos à noção de escala, seríamos pura e simplesmente afogados pela corrente de percepções que nos

assaltam ininterruptamente” (RACINE et al, 1983, p. 127). Ou seja, a escala é uma espécie de filtro da realidade, manuseada pelo pesquisador.

Como foi discutido até aqui, o conceito de escala é de fácil entendimento, segundo uma visão cartográfica, como uma transformação geométrica de semelhança, responsável por tornar visível um determinado fenômeno. Hoje, os avanços das chamadas Geotecnologias, têm proporcionado infinitas possibilidades de representação do mundo real, através dos SIGs (Sistemas de Informações Geográficas), do sensoriamento remoto e do GPS, todavia, também introduziram novas questões neste debate em torno da escala, como o problema da multiescalaridade. Discutindo a cerca deste assunto, Menezes e Neto afirmam (1999, p.5):

“Em relação à multiescalaridade, deve-se verificar o nível de alteração que cada base de informação deve sofrer para a criação de uma base única, compatível com todas as informações analisadas. A integração das informações em diferentes escalas sob essa base única fatalmente ocasionará erros e perdas de informações em diferentes níveis. Um correto conhecimento dos erros e sua significância relativa (entre as informações) e absoluta (ao mundo real), é indispensável para a consistência da informação” (MENEZES e NETO, 1999, p.5).

O problema da multiescalaridade é muito importante, porque a depender da natureza do objeto analisado, pode induzir a informações erradas sobre o mesmo, já que, a observação de fenômenos sob diferentes escalas, pode causar significativas alterações na sua interpretação e na sua forma de representação MENEZES e NETO (1999).

No artigo de Santos (2012), ela discute essa questão da multiescalaridade e cita um estudo de caso da região Oeste da Bahia, que sofre um grande avanço na sua ocupação. A área de estudo é uma fazenda experimental de eucalipto. Foi observado que uma determinada área os eucaliptos cultivados não conseguiam se desenvolver e acabavam morrendo, assim os gestores resolveram fazer um mapeamento detalhado do solo dessa área. Segundo o mapeamento apresentado pela EMBRAPA (1999), na escala de 1: 5.000.000, o solo local é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Todavia, a partir do mapeamento detalhado da carta, na escala de 1: 25.000, foram possíveis a distinção de três tipos de solos:

Latossolo Amarelo Distrófico típico, Latossolo Amarelo Distrocoeso plíntico e Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico.

Com o mapa em escala adequada é possível resolver o problema, no estudo de caso o problema foi a presença de solo Latossolo Amarelo Distrocoeso, ele tem como característica a formação de uma camada extremamente compacta que dificulta o crescimento radicular (GIAROLA,2002)

Pode se concluir que pode haver a necessidade de estudos mais aprofundado na área de estudo para evitar erros. No trabalho aqui presente busca validar uma metodologia para o levantamento de fragilidade ambiental de áreas com pouco acesso a dados e/ou recursos limitados. A validação do mapa de fragilidade foi feita a partir das cartas disponíveis no site Geosampa da Prefeitura de São Paulo. Ficando provando que a metodologia funciona, porém pode ser necessário alguns testes mais específicos em alguns casos devido a escala dos mapas gerados.

5 Análise dos dados

O conhecimento da cobertura do solo é de fundamental importância para a análise das áreas de deslizamentos de massa. O tipo de cobertura associado à declividade do terreno dará indícios da fragilidade da região quanto às intempéries e às ações antrópicas sobre o solo.

A Figura 5 mostra o mapa de cobertura do solo do município de São Paulo. Este mapa classifica as regiões em tipos: “água”, “vegetação”, “solo exposto”, “agrossilvopastoril”, “área urbana” e “nuvem”. Na área dos distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do ó, Brasilândia, Jaraguá observa-se a predominância de regiões com “área urbana” com algumas pequenas áreas de “vegetação” e “agropastoril”. Tal fato, aliado à topografia íngreme do local, intensifica a fragilidade dessas áreas aos eventos de deslizamentos, pois a falta de cobertura propicia um maior desgaste do solo, facilitando a perda de material devido aos agentes naturais como vento e chuva.

No mapa de compartimentação do relevo (Figura 8), cada região é classificada de acordo com sua declividade (alta, média ou baixa) e vertente (côncava ou convexa), havendo seis possíveis tipos de classificação. Para a análise de áreas de risco de deslizamento de massa, as classificações mais críticas seriam aquelas de alta declividade. A vertente do terreno indicaria se a água escoaria, caso ela fosse convexa, ou se a água empossaria no local, caso a vertente fosse côncava. No caso dos distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do ó, Brasilândia, Jaraguá há uma grande predominância de áreas com declividade média de vertente côncava com algumas regiões de vertente convexa e áreas com alta declividade de vertente côncava e convexa.

A partir dos mapas de compartimentação do relevo e de uso e ocupação do solo obteve-se o mapa de fragilidade para o município de São Paulo (Figura 10) na qual está classificado em 5 níveis de intensidade que vão desde “sem fragilidade” até “muito alta fragilidade”. Neste mapa é possível notar uma grande predominância de áreas de “média fragilidade” para deslizamentos de massa. Entretanto, para a região dos distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do ó, Brasilândia, Jaraguá, nota-se uma concentração de regiões de “alta fragilidade” e “muito alta fragilidade”. Estes resultados estão fortemente relacionados às características físicas do terreno de declividade média e vertente côncava e ao fato de que não há cobertura do solo

natural, como já mencionado anteriormente. A combinação destas características em períodos de chuva cria uma situação favorável à ocorrência de deslizamentos de massa.

5.1 Mapa de uso e ocupação do solo

Os valores do coeficiente de concordância Kappa variam de 0 a 1,00 entre as cenas (Tabela 2). Congalton (1991) afirma que o uso do coeficiente Kappa é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, uma vez que leva em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, que representam as discordâncias na classificação. A média dos índices Kappa ficaram entorno de 0,77.

A separabilidade entre as classes “Água/Sombra”, “Não Classificado” e “Vegetação florestal”, foi avaliada por meio dos erros de comissão e omissão e da porcentagem de acerto para estas classes. É possível observar que, de modo geral, a classificação das cenas apresentou bom nível de discriminação entre as classes, pois a porcentagem média de acerto da classe vegetação foi de 91,94 %, já a classe “Água / Sombra” teve média de 88,01 %, pôr fim a classe “Não Vegetação” teve média de 54,15%. As matrizes de confusão são apresentadas em anexo nas Tabelas 3,4,5 e 6. O mapa fruto desse processo é o mostrado na Figura 5. Também é apresentado na Tabela 2 o resumo das Matrizes de Confusão.

5.2 Mapa de compartimentação do relevo.

Foi notado no mapa gerado de compartimentação do relevo do município de São Paulo - SP, que a declividade predominante são declividade média e vertente côncava, seguido de declividade média e vertente convexa, entretanto foi possível notar que na região de estudo, é uma área de Declividade Alta e vertente convexa, e declividade média e vertente côncava. Isto quer dizer que são áreas com maior risco de haver deslizamentos, uma vez que áreas de perfil côncavo existem predomínio de fluxo linear com altas velocidades de escoamento, alta capacidade de transporte de sedimentos. Já áreas de perfil convexo são caracterizadas por serem de fluxo difuso, velocidade baixa de escoamento, baixa capacidade de transporte de sedimentos (Silva Neto, 2014).

5.3 Mapa pluviométrico

Foi considerada a variável de dados pluviométricos para produzir o mapa de fragilidade do município de São Paulo -SP por alguns motivos, é uma variável de extrema importância pois exerce influência direta sob as formas do relevo por meio do intemperismo e erosão, principalmente pluvial e fluvial. As áreas que exibiram maior efeito pluviométrico foram consideradas de maior fragilidade, uma vez que as chuvas intensas apresentam alto poder erosivo (CREPANI *et al.*, 2001), contribuindo, assim, para o carreamento de sedimentos e poluentes aos reservatórios.

No levantamento bibliográfico feito, essa variável foi utilizada nos estudos, dos vinte artigos vistos, sete fizeram uso (35%). Outro motivo para a sua inclusão foi a não uniformidade dos dados pluviométricos, a área de estudo é de aproximadamente de 1.523 km², e foram notadas variações nos índices pluviométricos significativas na área de estudo. (Mapa de Pluviométrico Figura 9).

5.4 Mapa de Fragilidade do Terreno

É possível observar que a área de estudo dos distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá, existem as áreas de maior declividade, sendo composta por áreas de muito alta fragilidade e alta fragilidade. Este fato pode estar associado à influência do relevo intensamente acidentado e à fragmentação da cobertura vegetal nesta área. Na área de estudo foi possível observar algumas áreas de intensa urbanização, impermeabilização do solo, desmatamento. (Mapa de fragilidade figura 10).

5.5 Avaliação do Mapa de Fragilidade

Para a análise, considerou-se que as intensidades de fragilidade que seriam comparadas com a região de fragilidade de MRG seriam as de média, alta e muito alta fragilidade. Assim, as regiões de MV classificadas como nenhuma ou baixa fragilidade seriam consideradas como áreas de incompatibilidade em relação a MRG. Como pode-se observar pelo gráfico 1 e por MV a somatória das áreas regiões de média, alta e muito alta fragilidade representam cerca de 99,93% das regiões de MV, ou seja, 99,93% das áreas de MF e MRG são compatíveis, representando de fato áreas de fragilidade à deslizamentos de terra. A porção de MV caracterizada por

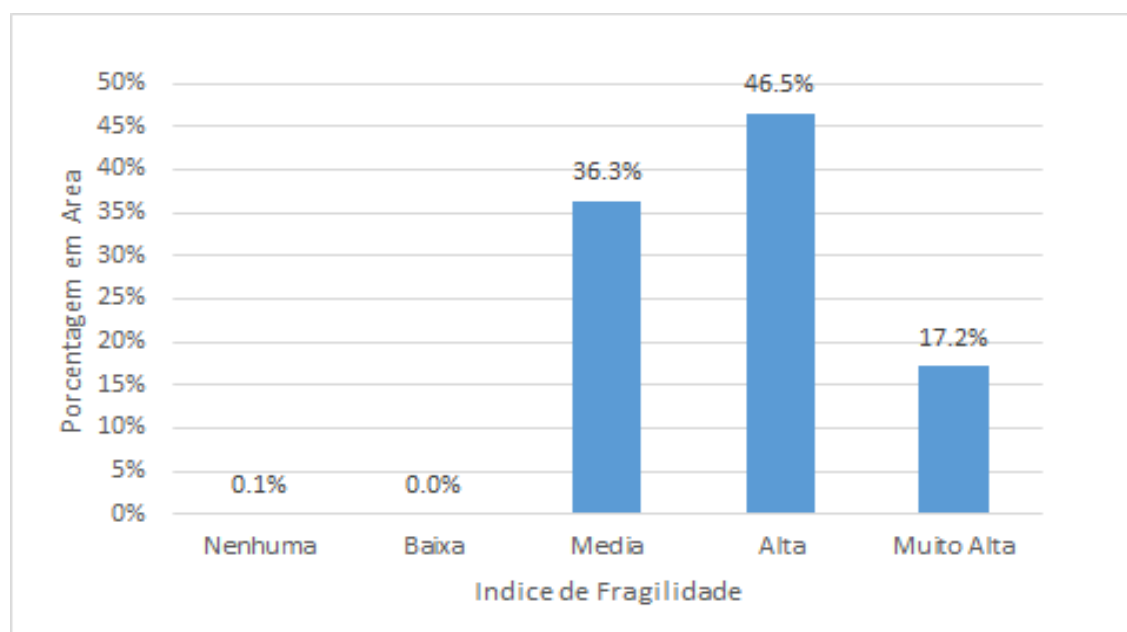
nenhuma ou baixa fragilidade pode estar relacionada à diferença de escala entre MF e MRG ou ao fato de que MRG leva em consideração o risco a deslizamento e solapamento associado a ocupação de pessoas, ao passo que MF engloba de forma mais ampla a fragilidade associada às condições naturais do terreno . Entretanto, sua baixa representatividade em relação ao total, 0,1%, torna esta região pouco relevante.

Sendo assim, é possível observar na tabela 7, que os dados do mapa de fragilidade gerado têm grande similaridade com o mapa de risco geológico fornecido pelo GeoSampa. Com isso, avaliamos que os dados gerados pela metodologia adaptada podem ser utilizados como ferramenta de planejamento urbano e ambiental.

Tabela 7 - Áreas por tipo de fragilidade em MV.

| | Área em km ² devido ao tipo de fragilidade |
|-------|---|
| A0 | 0,01 |
| A1 | 0,00 |
| A2 | 4,97 |
| A3 | 6,35 |
| A4 | 2,35 |
| Total | 13,68 |

Gráfico 1 - Porcentagem da área do mapa MV por intensidade de fragilidade.



5.6 Mapas de Fragilidade x Zoneamento

Para a realização da análise, primeiro consideramos as proporções das áreas de fragilidade dentro do município de São Paulo.

Gráfico 2 - Porcentagem das áreas do município de São Paulo por intensidade de fragilidade

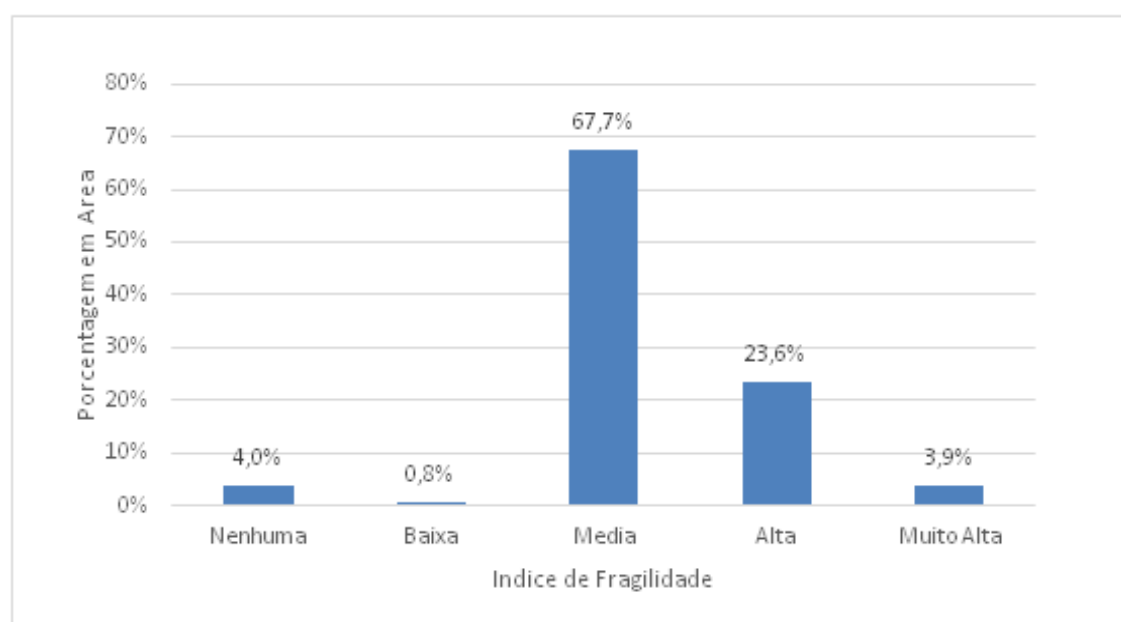
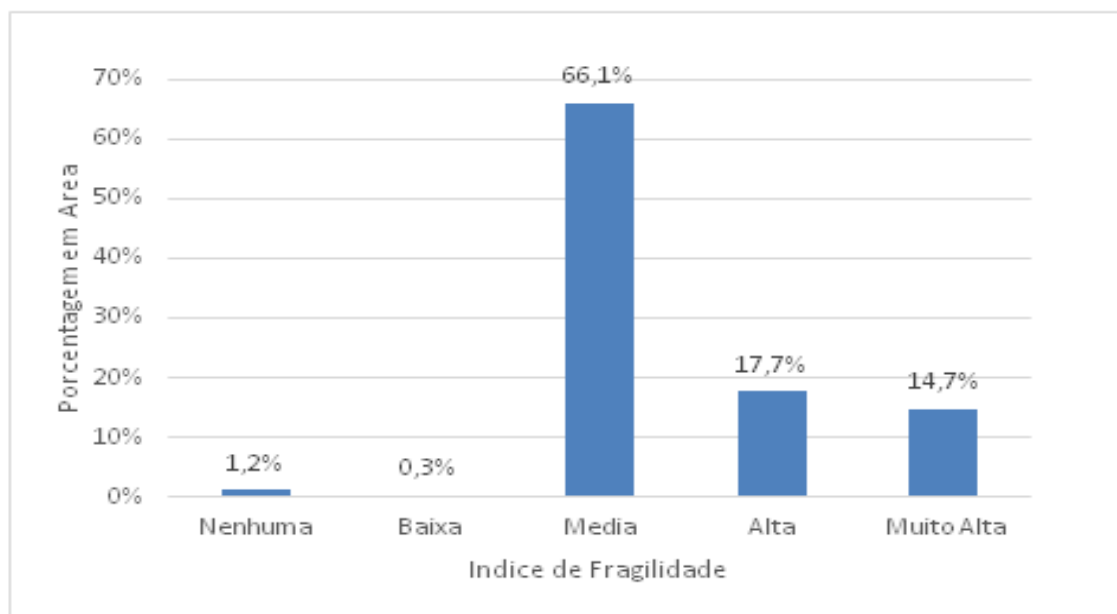


Gráfico 3 - Porcentagem de áreas de ZEIS 2, 3 e 4 (Lei 13.885/04) em cada tipo de fragilidade.

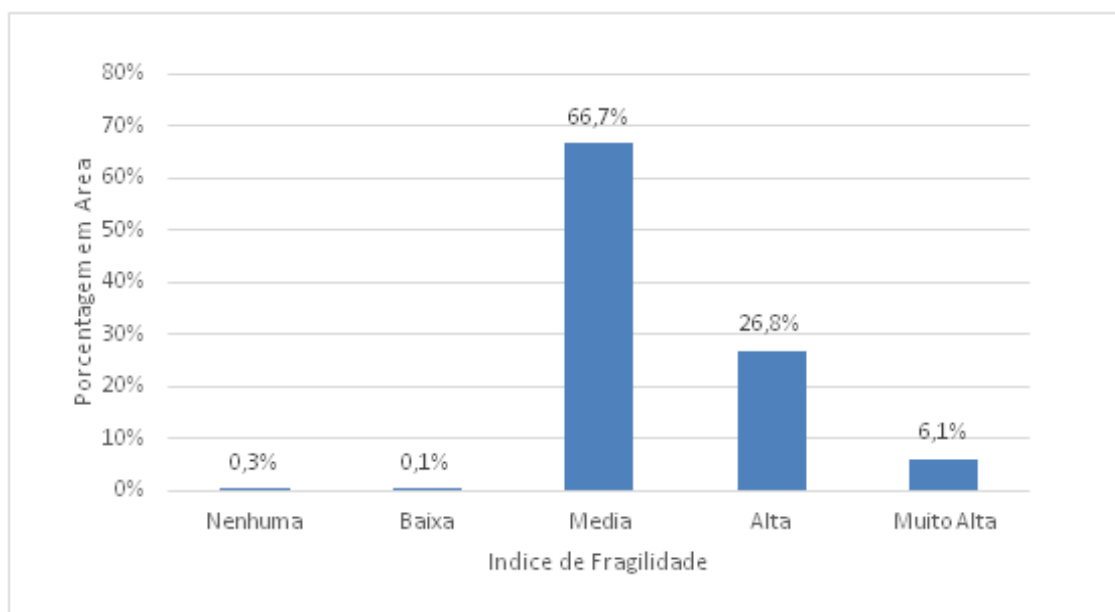


Comparou-se o gráfico 2 com o gráfico 3, que mede a porcentagem das áreas demarcadas de ZEIS 2, 3 e 4 da Lei 13.885/04.

A ocorrência de ZEIS em áreas de “Muito Alta” e “Alta” fragilidade são 32,4% das áreas totais dessas ZEIS. Além disto, a proporção de áreas de “Muita Alta” fragilidade são maiores no das ZEIS do que na da cidade de São Paulo, enquanto que as de “Nenhuma” e “Baixa” fragilidade a proporção é menor do que as da cidade de São Paulo.

Podemos realizar este mesmo método comparativo com as áreas demarcadas como ZEIS 2, 3, 4 e 5 da Lei 16.050/16.

Gráfico 4 : Porcentagem de áreas de ZEIS 2, 3, 4 e 5 (Lei 16.050/16) em cada tipo de fragilidade



A porcentagem de “Alta” e “Muito Alta” representam 32,9% das áreas de ZEIS. Embora as áreas consideradas “Muito Altas” terem tido uma redução percentual comparativamente com 2004, ela ainda está acima da proporção do município de São Paulo. Além disto, as áreas de “Alta” fragilidade, que no zoneamento de 2004 estava abaixo da proporção do município, tiveram proporções maiores comparando com as do município. As áreas de “Nenhuma” e “Baixa” fragilidade diminuíram ainda mais proporcionalmente do que as de 2004.

As áreas demarcadas como de “média” fragilidade se mantiveram próximas nos três gráficos.

A Tabela 08 sintetiza os dados da análise realizada. Tanto na Lei 13.855/04, quanto na Lei 16.050/16, percebemos que as áreas de fragilidade alta e muito alta representam mais de 30% das áreas totais das áreas das ZEIS estudadas. Isto é preocupante, dado que a regularização das ZEIS tem como intuito fornecer para a população de baixa renda áreas de boa infraestrutura. Assim, realocar a população de baixa renda nas regiões de “alta” e “muita alta” fragilidade pode ser contrária ao intuito principal da ZEIS.

Além disso, a construção de moradias populares em regiões de fragilidade ao deslizamento exige uma capacidade técnica mais elevada, o que acaba por encarecer

as obras nessa região, o que para o setor público é desvantajoso por ser mais custoso, e para o setor privado torna a área menos atrativa. Se não ocorrer um estudo prévio, é possível que seja necessário a implantação de medidas mitigadoras, o que encarece muito as obras também. Contudo, comparativamente, tivemos um progresso entre as ZEIS, sendo deslocadas para regiões mais centrais, aumentando as suas áreas, e tendo significativa perda percentual de regiões de alta fragilidade.

Percebemos assim que apesar do progresso com a determinação de áreas de ZEIS, ainda encontramos muitas áreas nas regiões de risco de deslizamentos.

Tabela 8 - Tabela comparativa entre as áreas de fragilidade em porcentual.

| | | Nenhuma | Baixa | Média | Alta | Muito Alta | Alta + Muito Alta | Total |
|-----------------|-----|---------|-------|---------|--------|------------|----------------------|---------|
| Município | % | 4,0% | 0,8% | 67,7% | 23,6% | 3,9% | 27,5% | |
| | Km² | 61,4 | 12,6 | 1033,40 | 360,00 | 60,10 | 420,10 | 1527,50 |
| Zoneamento 2004 | % | 1,2% | 0,3% | 66,1% | 17,7% | 14,7% | 32,4% | |
| | Km² | 0,10 | 0,03 | 5,67 | 1,52 | 1,26 | 2,78 | 8,52 |
| Zoneamento 2016 | % | 0,3% | 0,1% | 66,7% | 26,8% | 6,1% | 32,9% | |
| | Km² | 0,10 | 0,00 | 21,40 | 8,60 | 1,90 | 10,50 | 32,00 |

Figura 8 - Mapa de cobertura do solo do município de São Paulo -SP (2015).

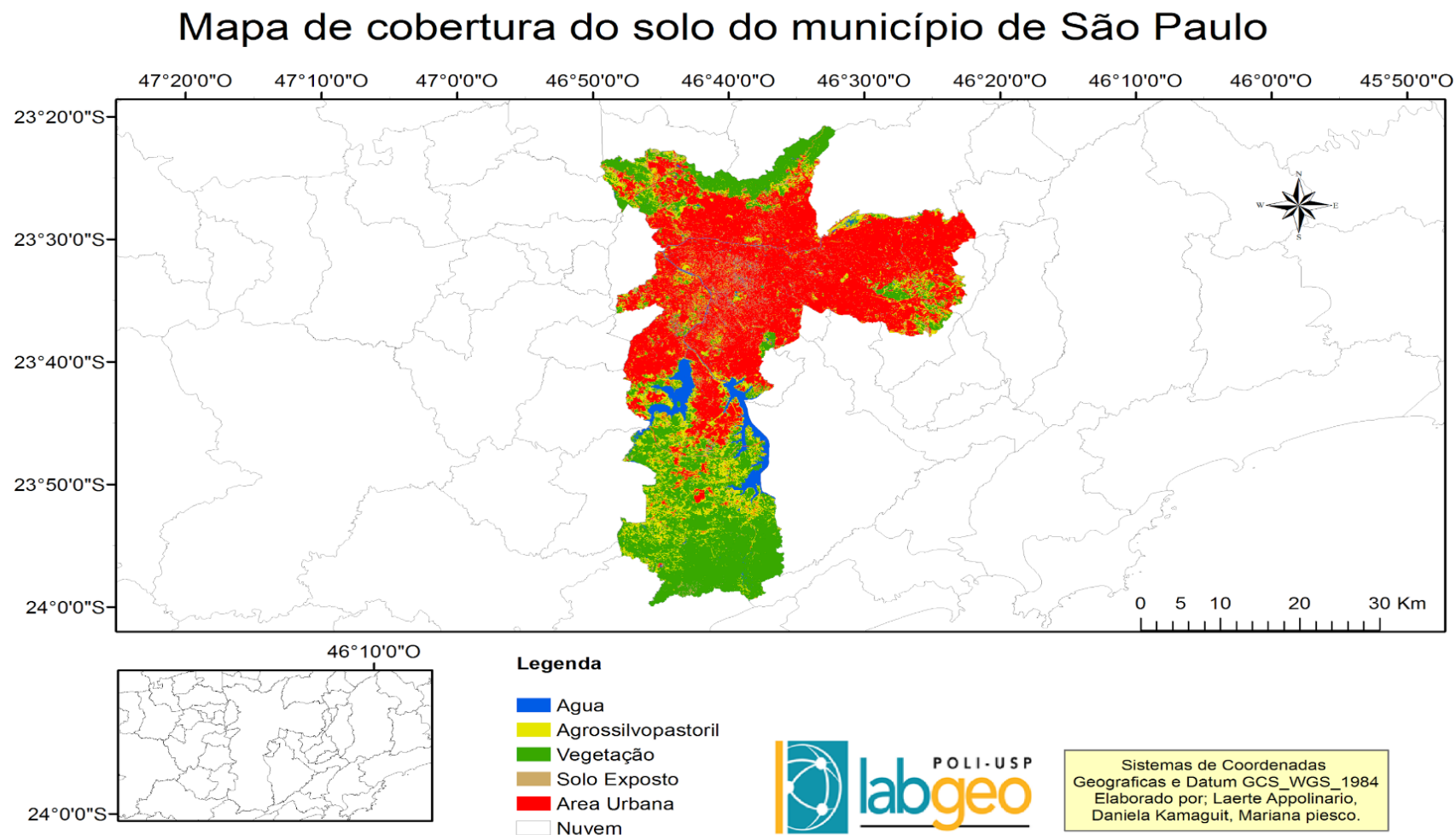


Figura 9 - Mapa de compartimentação do relevo do município de São Paulo – SP (2015).

Mapa de Compartimentação do relevo do município de São Paulo - SP

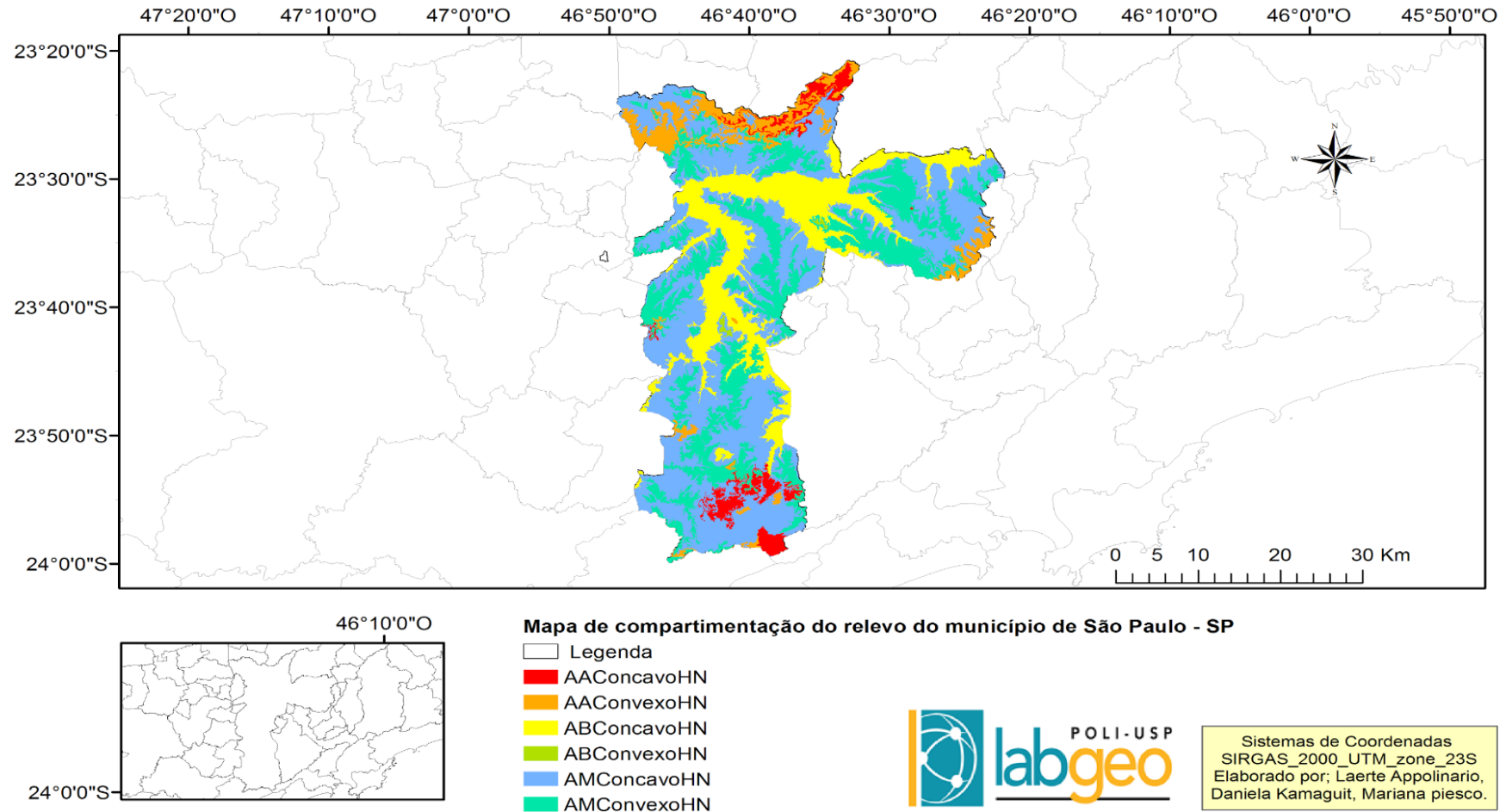


Figura 10 - Mapa pluviométrico no município de São Paulo – SP (2015).

Mapa Pluviométrico do Município de São Paulo - SP- Metodo IDW.

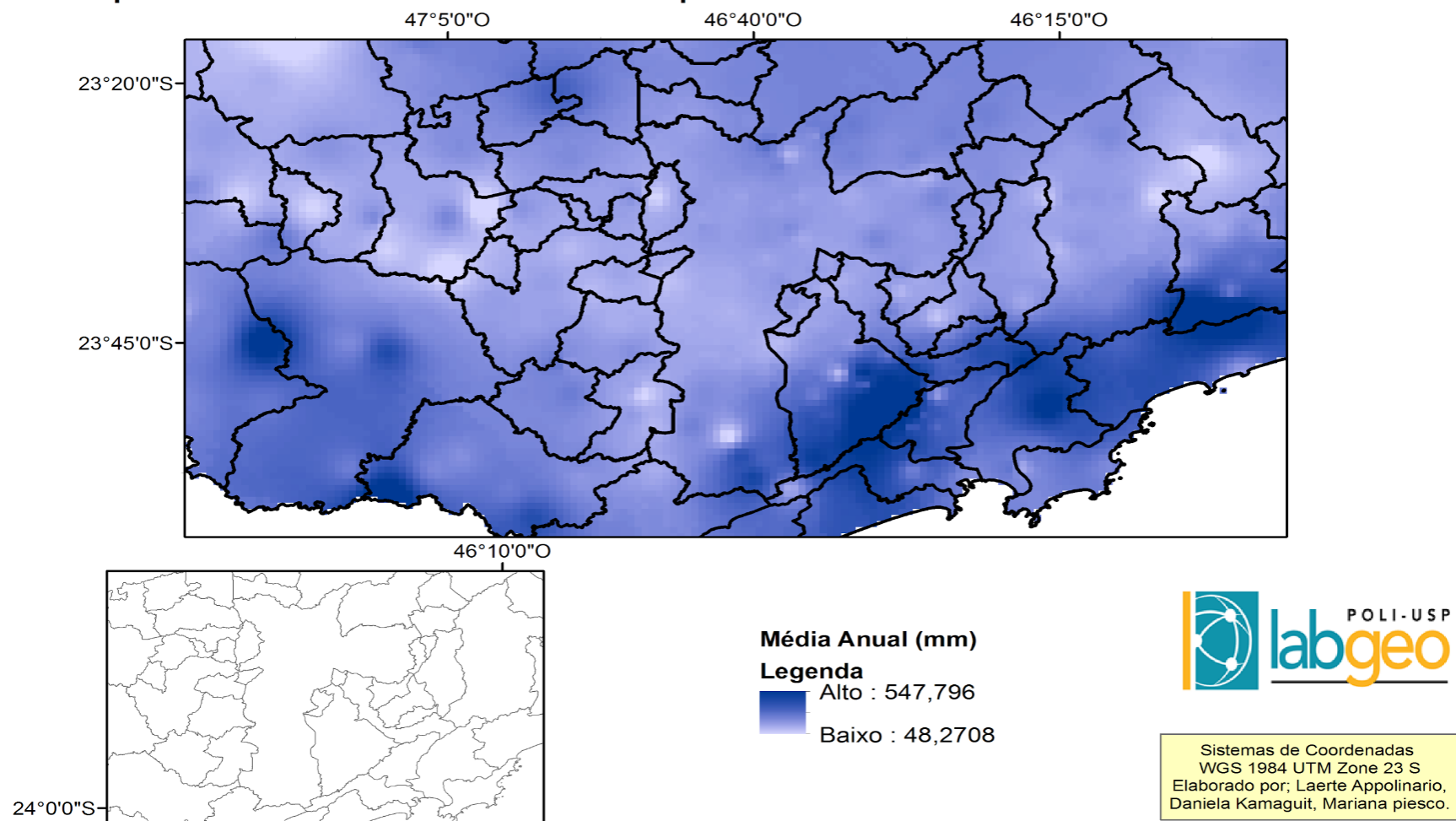


Figura 11 - Mapa de fragilidade do município de São Paulo – SP (2015).

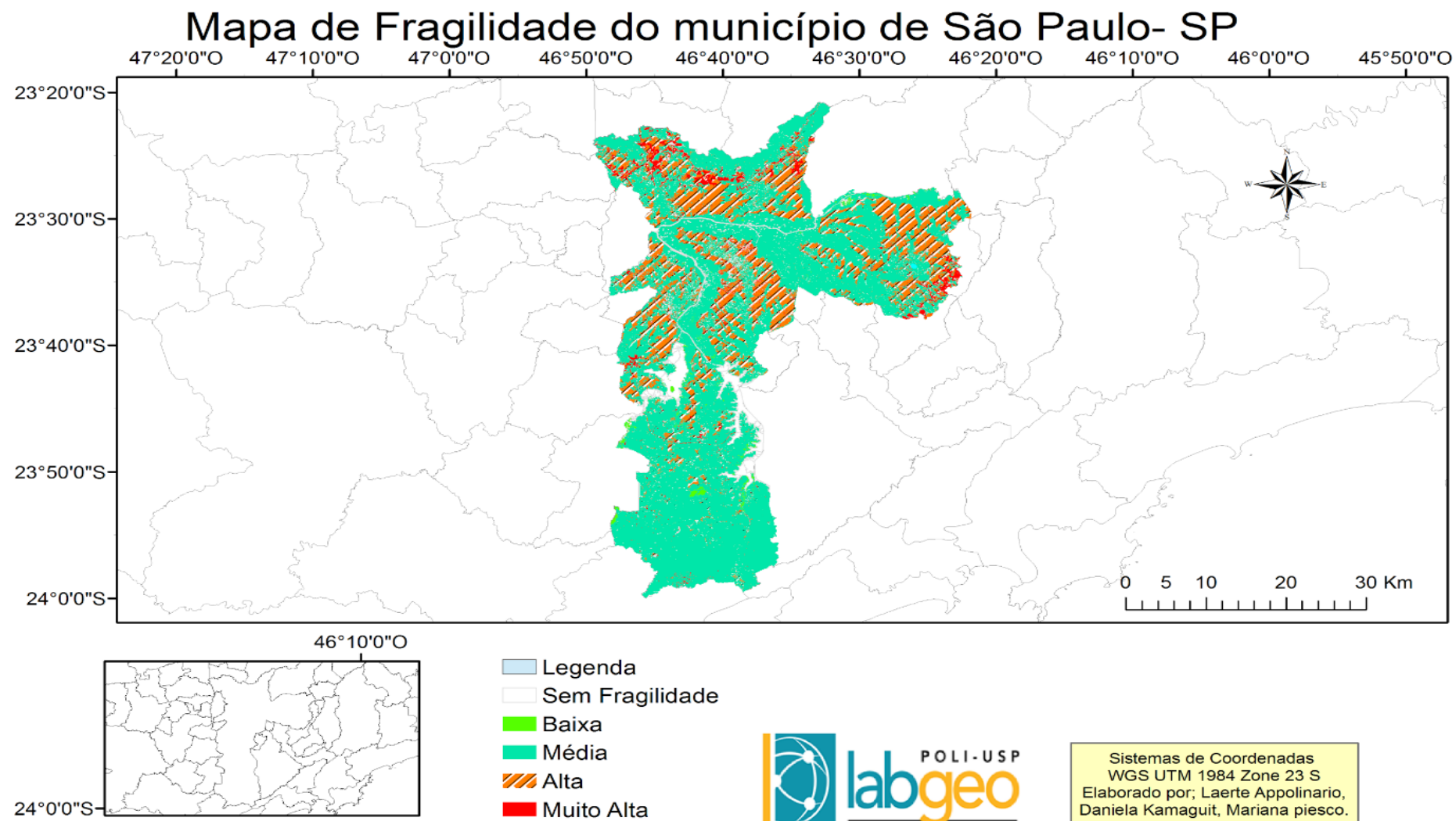


Figura 12 - Mapa de fragilidade do município de São Paulo em destaque os distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá.

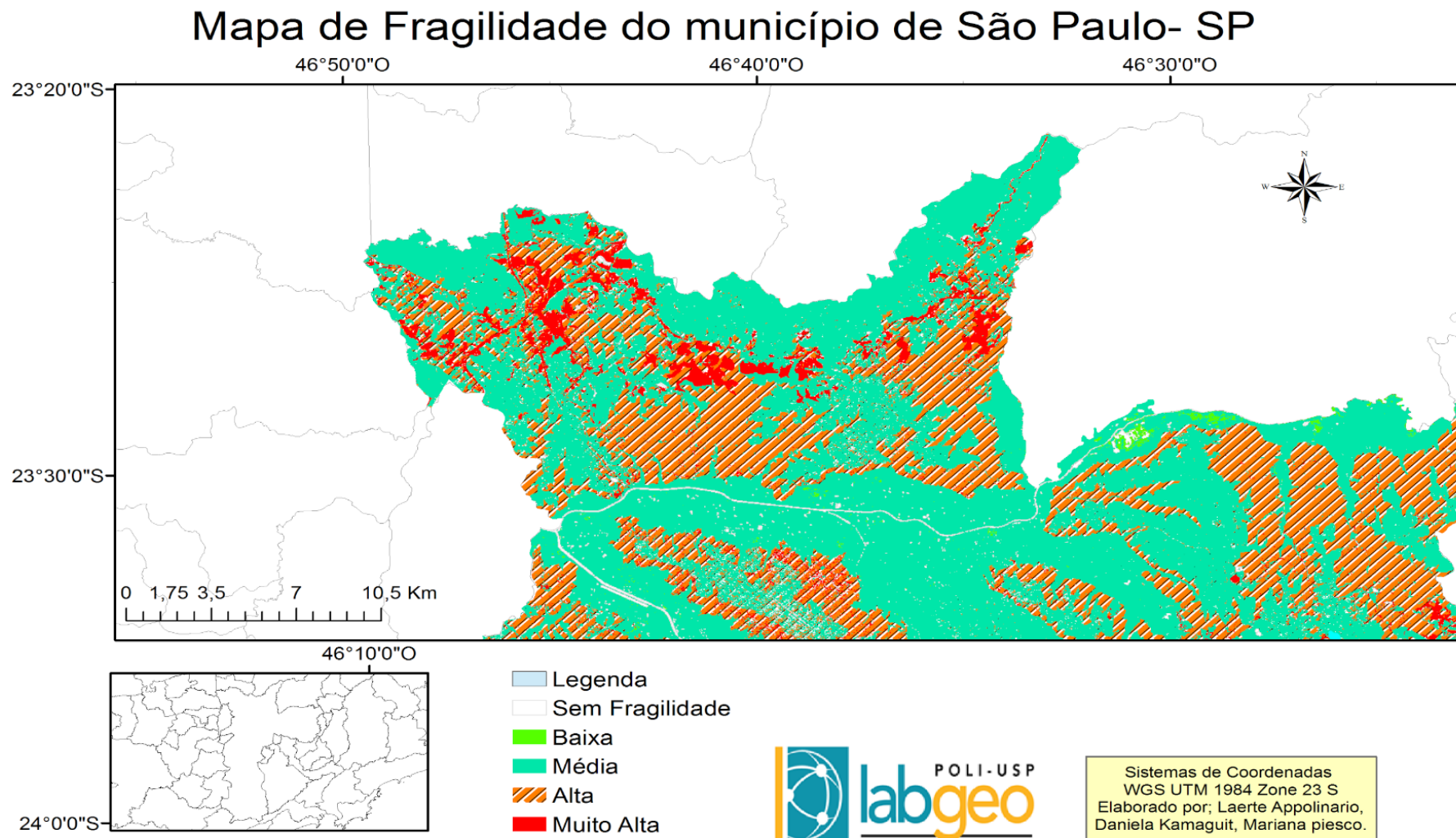


Figura 13 - Mapa do Zoneamento de 2016, em destaque as ZEIS 02,03,04,05.13

Zoneamento 2016- ZEIS 02,03,04,05 -

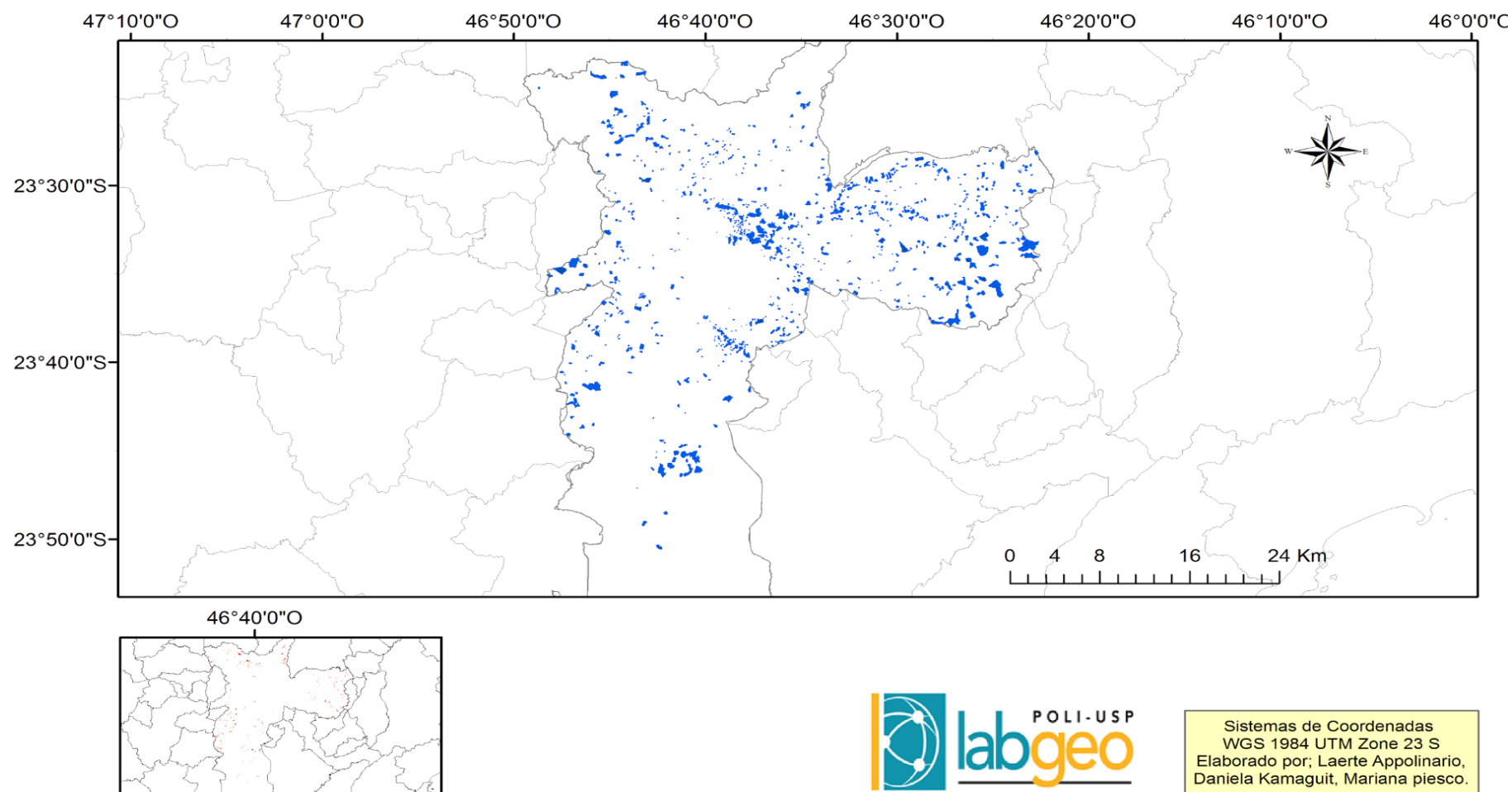


Figura 14 - Mapa de zoneamento 2016 ZEIS X Mapa de fragilidade.

Mapa de Fragilidade X Mapa de Zoneamento 2016

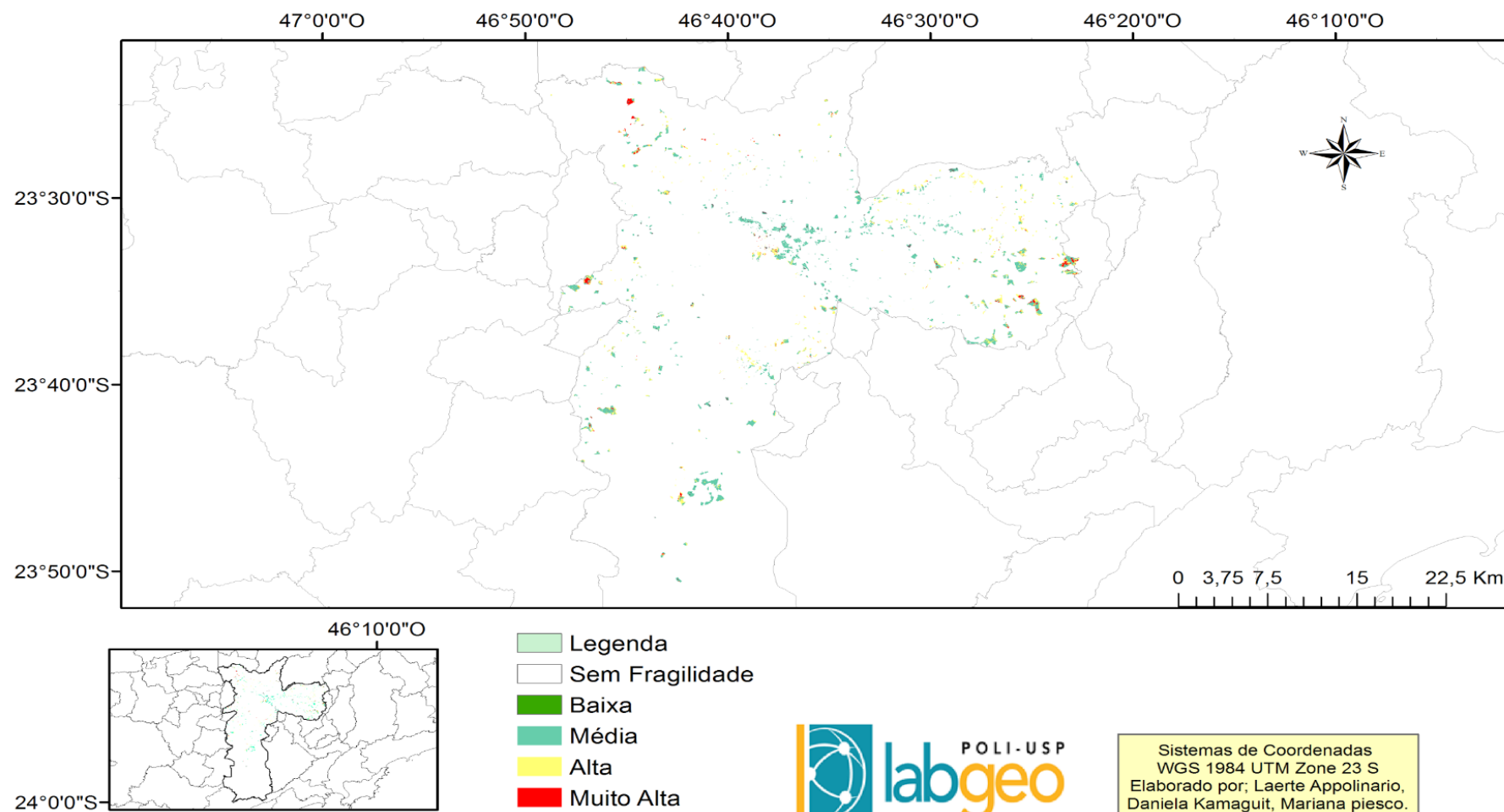


Figura 15 - Mapa de zoneamento 2016 ZEIS X mapa de fragilidade (distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá).

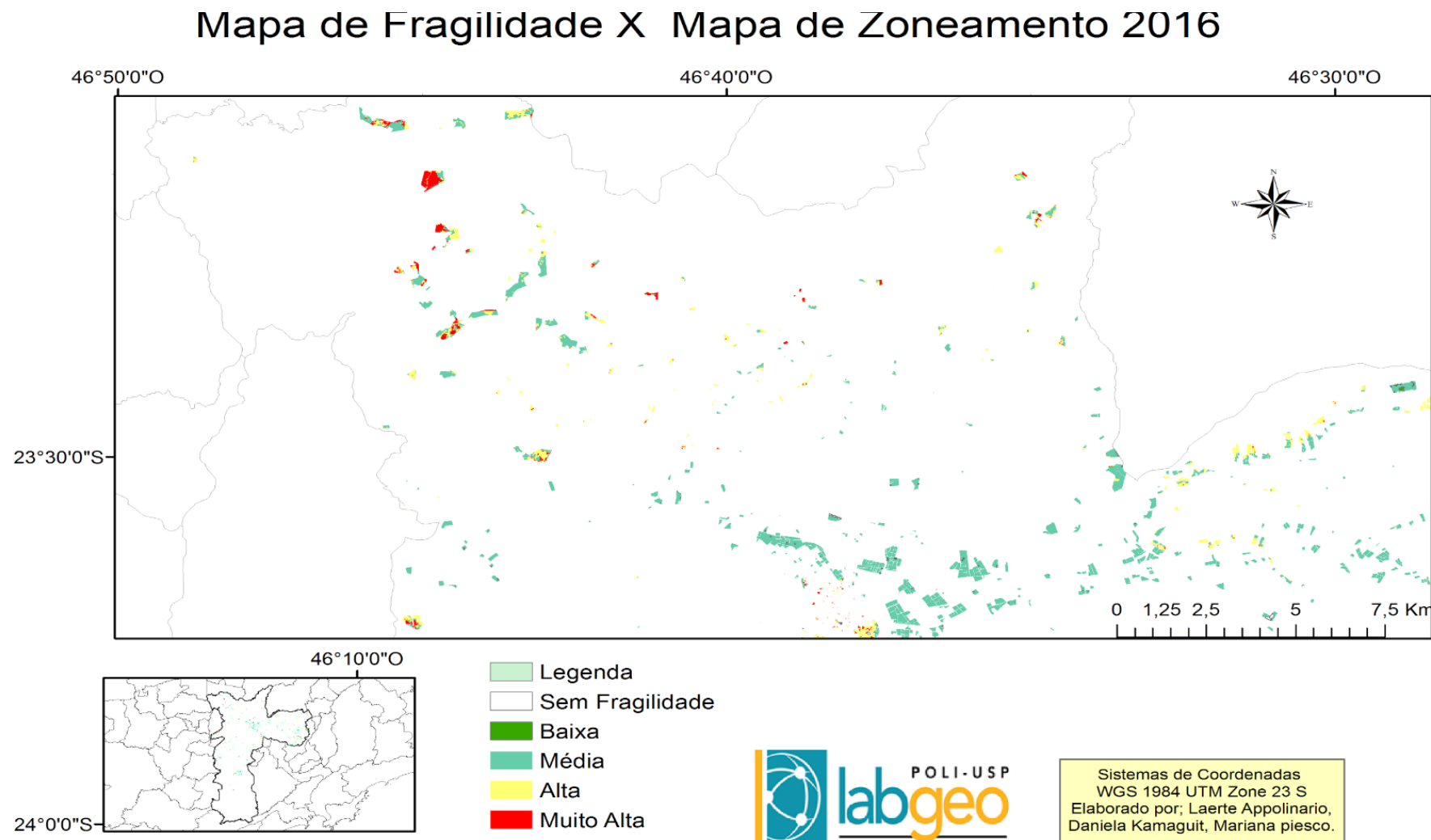


Figura 16 - Mapa de Zoneamento 2004 - ZEIS 02,03,04.

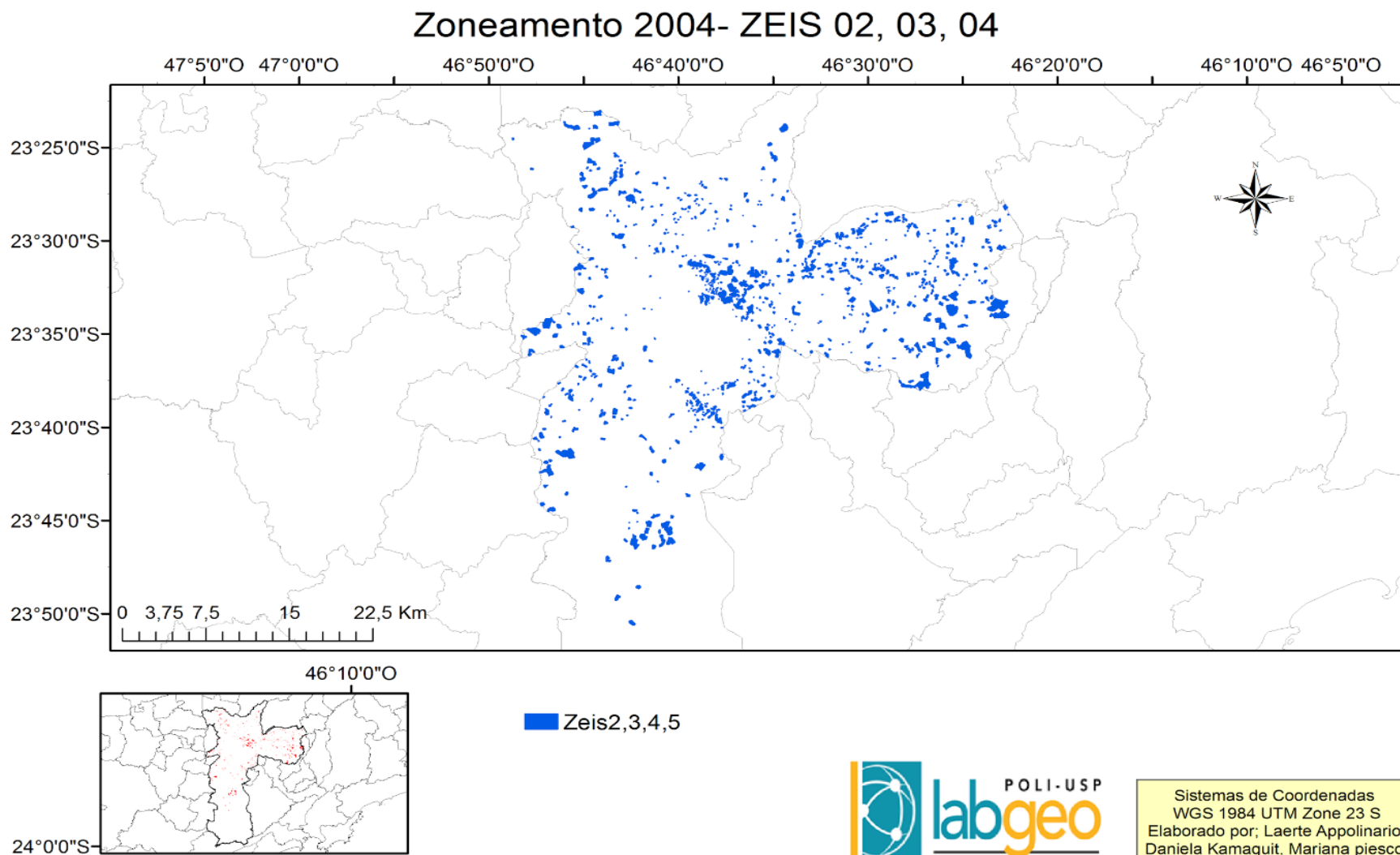


Figura 17 - Mapa de Zoneamento 2004 - ZEIS 02,03,04 X Mapa de Fragilidade.

Zoneamento ZEIS 2004 X Mapa de Fragilidade do município de São Paulo- SP

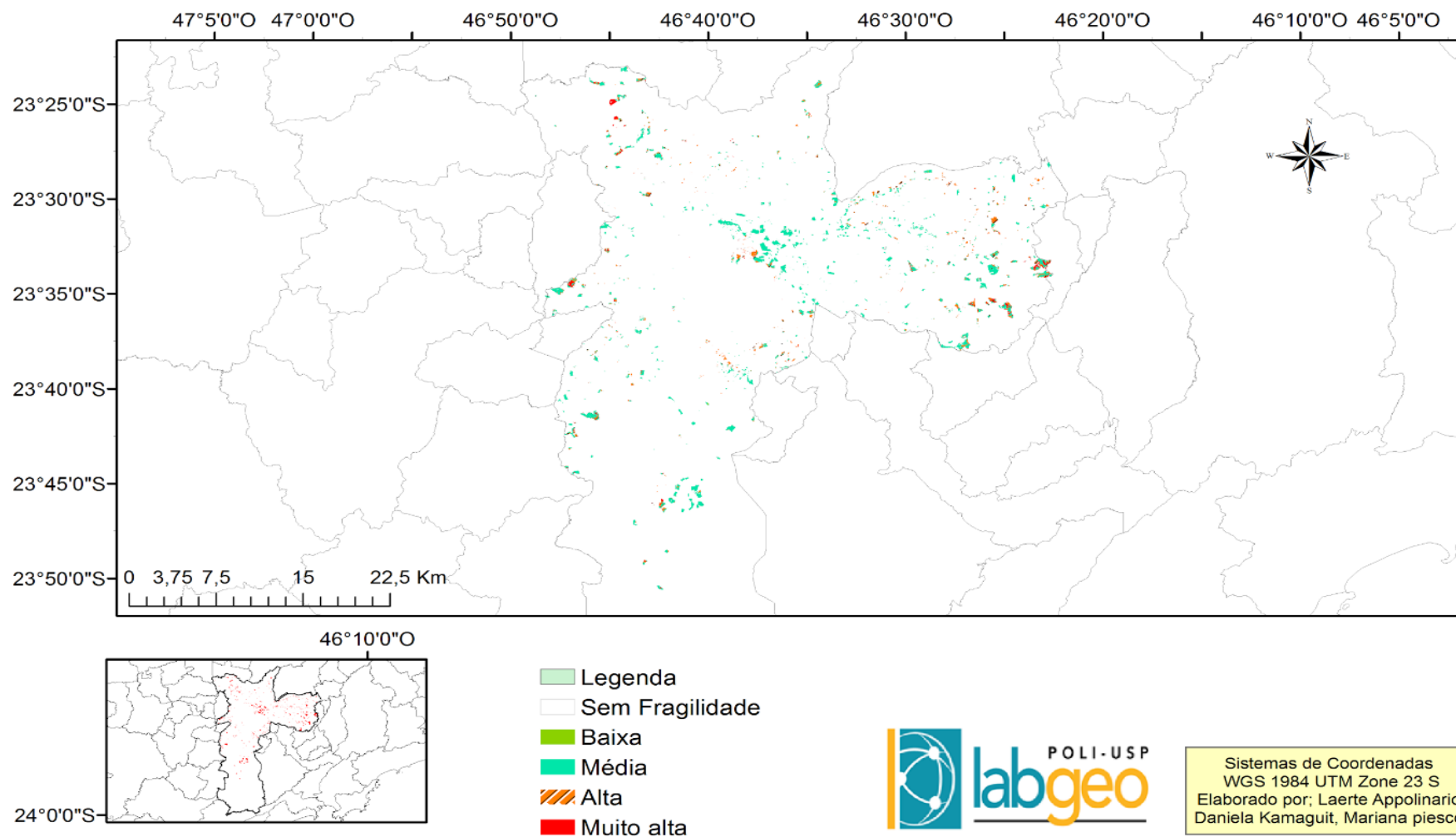


Figura 18 Mapa de zoneamento 2004 - ZEIS 02,03,04 x mapa de fragilidade (distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraquá).

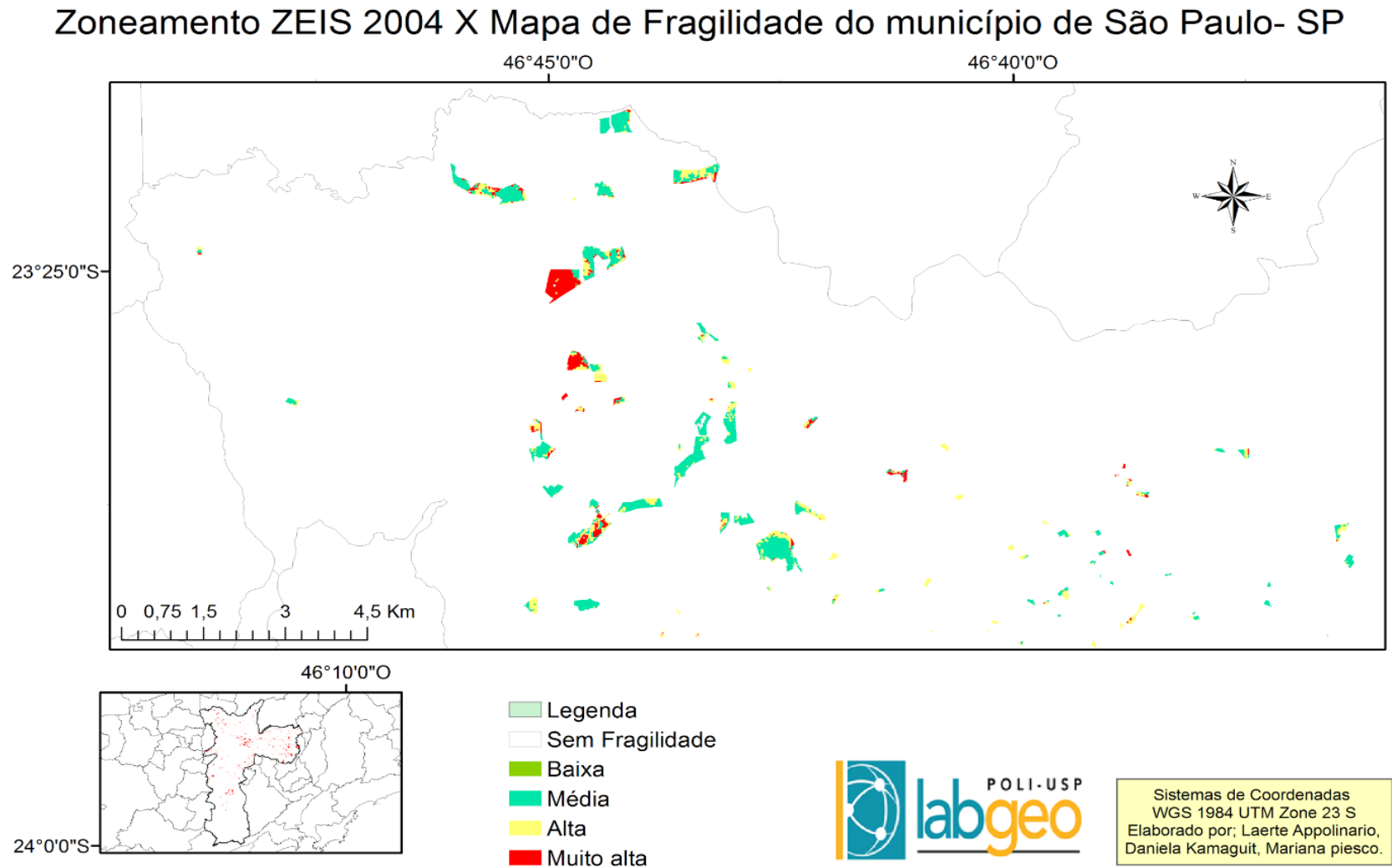
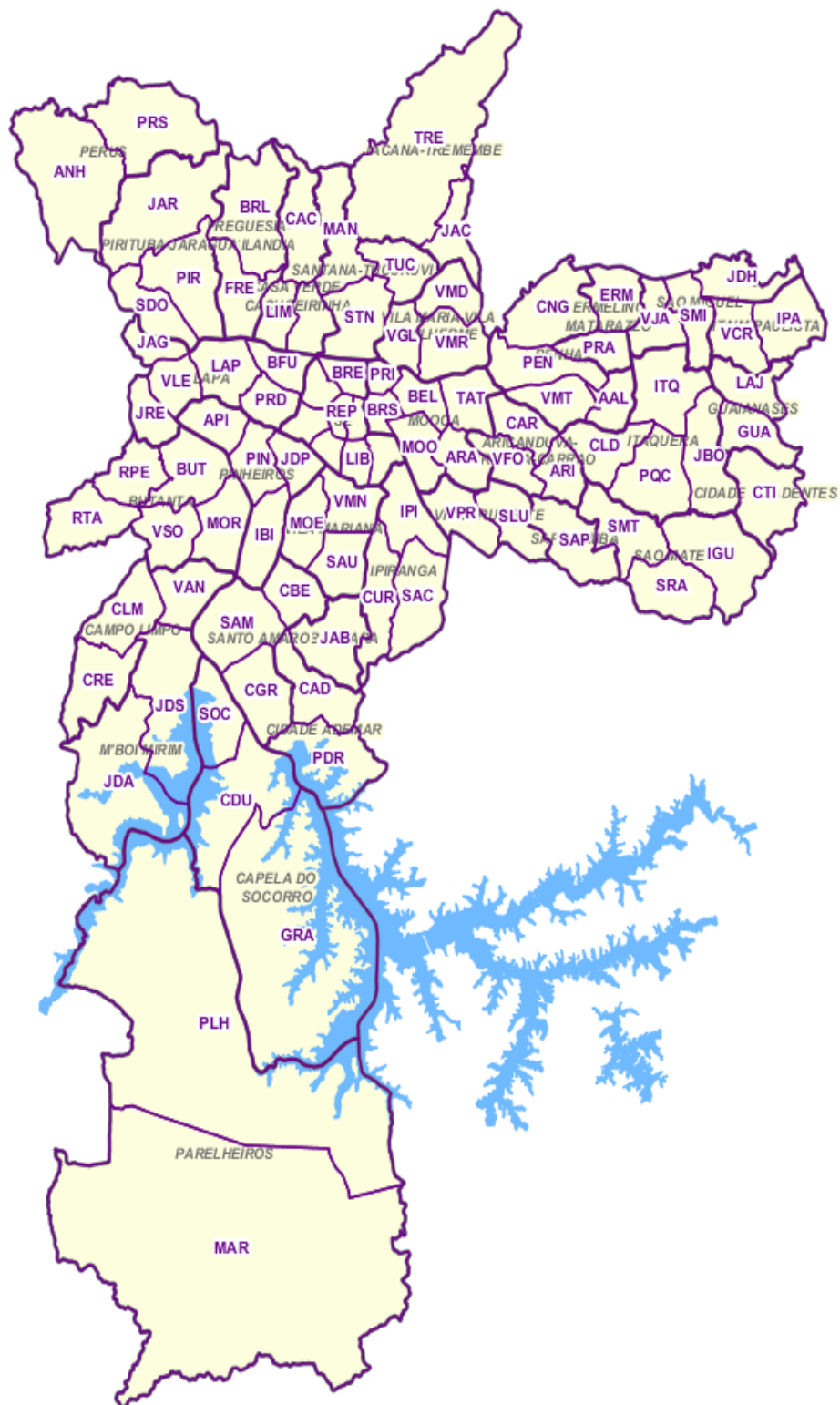


Figura 19 - Mapa do município de São Paulo com os distritos.



Fonte GeoSampa.

Figura 20 - Mapa de Risco Geosampa X Mapa Fragilidade.

Mapa de Fragilidade X Mapa de Áreas de Risco Geosampa

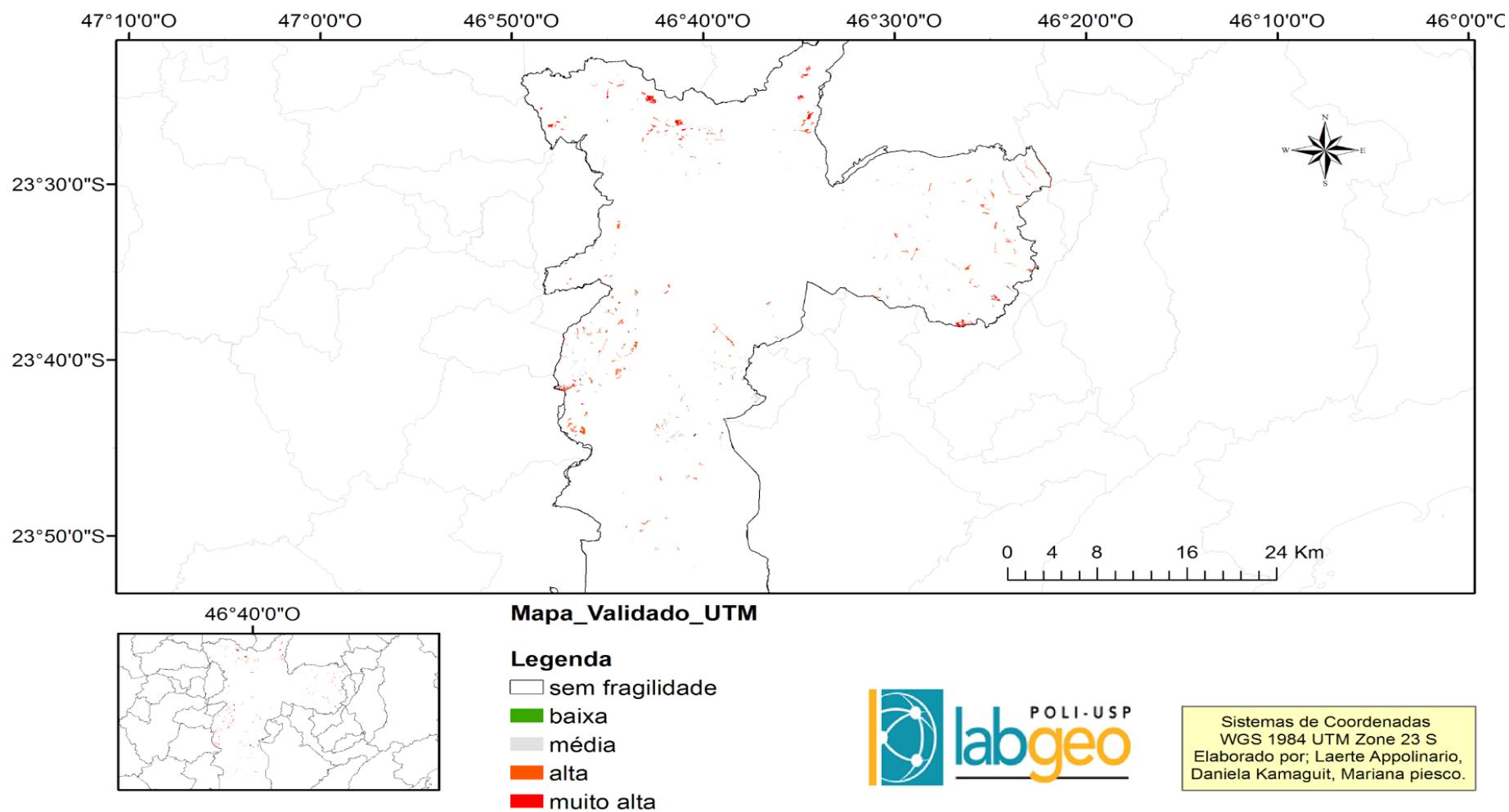
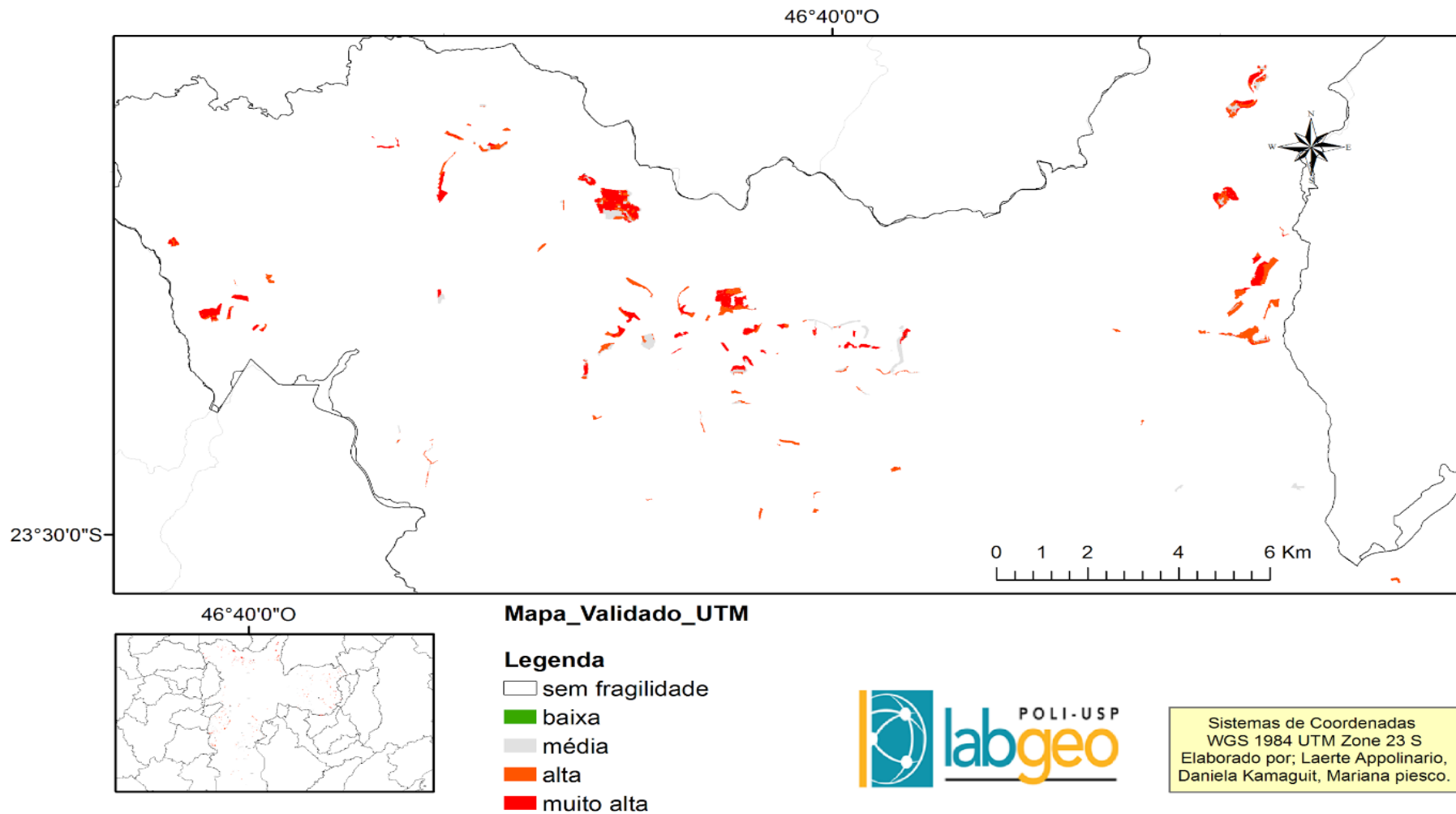


Figura 21 - Mapa de Risco Geosampa X Mapa Fragilidade fragilidade (distritos de Perus, Pirituba, Freguesia do Ó, Brasilândia, Jaraguá).

Mapa de Fragilidade X Mapa de Áreas de Risco Geosampa



6 Conclusões

A avaliação do mapa de fragilidade ambiental adaptado das metodologias de Crepani e Ross resultou em uma compatibilidade de 99,93% em relação ao mapa de risco geológico fornecido pelo GeoSampa. Essa porcentagem refere-se às fragilidades média, alta e muito alta, indicando uma alta correlação entre suas informações. Desse modo, concluímos que a adaptação gerada satisfaz de forma bastante eficiente a falta de dados sobre a fragilidade ambiental a risco de deslizamento de terra do município de São Paulo. Acrescentamos ainda a possibilidade do uso da metodologia dessa adaptação para outras áreas que careçam de informações.

Utilizamos o mapa gerado para avaliar as áreas de ZEIS de São Paulo determinados pelo Plano Diretor Estratégico de São Paulo de 2004 e 2014, realizando uma análise comparativa entre elas. Nota-se um grande avanço referente à sua distribuição espacial, com a diminuição da periferização das áreas destinadas à população de baixa renda, aumento das áreas destinadas às ZEIS e diminuição percentual de áreas de “muito alta” fragilidade. Apesar disso, nota-se que mais de 30% das áreas de ZEIS ainda se encontram em áreas de “muito alta” e “alta” fragilidade, mostrando ineficiências no planejamento urbano e ambiental do município.

Essa situação inviabiliza a proposta das ZEIS, que visa fornecer melhores terrenos para a população de baixa renda. Além disso, devido aos elevados custos de construção relacionados à alta fragilidade do terreno à deslizamentos de terra, os empreendimentos em tais áreas tornam-se pouco atrativos ou até mesmo inviáveis tanto para o setor público como para a iniciativa privada.

Como já mencionado, a metodologia utilizada para a geração do mapa de fragilidade ambiental é uma adaptação das metodologias de Crepani e Ross e, portanto, é formada por várias simplificações a fim de se facilitar a geração do mapa. Com isso, o mapa resultante apresenta limitações como, por exemplo, a questão da escala como foi discutido anteriormente, restringindo sua utilização.

É possível obter mapas de fragilidade ambiental mais precisos, que apresentem melhor qualidade em termos de seus resultados, por meio da utilização de mapas de melhor resolução, introdução de mapas sobre o tipo de solo, entre

outros. Entretanto, o uso dessa metodologia foca as áreas que não dispõem de informações e recursos para a geração de mapas muito detalhados.

O mapa de fragilidade ambiental é uma ferramenta que possibilita auxiliar no planejamento urbano-ambiental, por meio da identificação de áreas de alto risco de deslizamento de terra, da melhor distribuição geográfica da infraestrutura (transporte, energia, gás) e de moradia, dentre muitos outros aspectos relacionados com o planejamento da cidade e a distribuição das pessoas e da infraestrutura em toda sua área. Entretanto, é importante salientar que devido às limitações que o mapa apresenta e aos diversos fatores que não são levados em consideração e/ou mesmo não apresentam relação direta na elaboração do mapa, ainda é necessário e importante a realização de estudos mais aprofundados das regiões a serem impactadas, como por exemplo estudos geotécnicos e de impacto ambiental.

7 Referência Bibliográfica

ALEXAKIS, D.D.; AGAPIOU, A.; TZOUVARAS, M.; THEMISTOCLEOUS, K.; NEOCLEOUS, K.; MICHAELIDES, S.; HADJIMITSIS, D.G. Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of Paphos area in Cyprus. *Natural Hazards*, v. 72, n. 1, p. 119-141. 2014.

ANDREOLI, C. V.; BRITO, E. do N.; FERNANDES, F.; VEROCAI, I. Proposta preliminar de abordagem metodológica para análise de estudo de impactos ambientais. (seção 3150, 16 p.). In: *MANUAL de avaliação de impactos ambientais*. 3 ed. Suplemento 3 - Curitiba: SEMA/IAP/GTZ, set. 1999.

ARONOFF, S. /*Geographical Information Systems: A Management Perspective*. /Ottawa, WDI Publications, 1989.

AZEVEDO, Sergio de. A crise da política habitacional: dilemas e perspectivas para o final dos anos 90. In: *A crise da moradia nas grandes cidades: da questão da habitação à reforma urbana*. RIBEIRO Luiz Cezar de Queiroz; AZEVEDO, Sergio de. Rio de Janeiro, Editora da UFRJ, p. 73-101, 1996.

BELTRAME, A. M. K.; QUINTANILHA J. A. Aplicação do programa CORINE e classificação baseada em objetos para mapeamento da cobertura do solo de faixa de domínio. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14. (SBSR), 2009, Natal.

BIGARELLA, J. J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.

BLOOM, A. L. Superfície da terra. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

BONDUKI, Nabil. Origem da habitação social no Brasil: Arquiteturas modernas, lei do inquilinato e difusão da casa própria. São Paulo: Estação Liberdade, FAPESP, 1998.

BOSSARD, M; FERANEC J; OTAHEL j; CORINE land cover technical guide-addendum 2000 – European Environment Agency, Copenhagen, 2000.

BROWN, M.; LEWIS, H.G.; GUNN, S.R. Linear spectral mixture models and support vector machines for remote sensing. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, v. 38, n. 5, p. 2346-2360. 2000

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Programa Habitar - Brasil / BID: Regulamento Operacional. Brasília, 2004

CAMPAGNOLI, F. A. Aplicação do assoreamento na definição de Geoindicadores Ambientais em áreas urbanas: exemplo na Bacia do Alto Tietê. 2002. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v37, p.37-46, 1991.

COSTA, D.P. de. Utilização de Geotecnologias na análise da transformação sócioespacial urbana da região serrana fluminense: o estudo de caso do distrito sede de Teresópolis. 186 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de PósGraduação em Geografia na área de concentração em Análise da Informação Espacial. Universidade Estadual Paulista, câmpus Rio Claro. São Paulo, 2005.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. São José dos Campos: INPE, 1996.

Crepani, E.; Medeiros, J. S. de; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. (INPE-8454-RPQ/722). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

DALMOLIN, Quintino; LEAL, Evilázio da Mota. Positional quality based on mapping bases

Deconcic-Fiesp. Disponível em:
<<http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/levantamento-inedito-mostra-deficit-de-62-milhoes-de-moradias-no-brasil/>>

generated from CAD. *Bol. Ciênc. Geod.*, Curitiba, v. 7, no 1, p.21-40,2001.

DRĂGUȚ, L., O. CSILLIK, C. EISANK, AND D. TIEDE. Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 88: 119–127, 2014.

ELÉTRICA, Departamento de Águas e Energia. Dados Pluviométricos das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos- UGRHI. São Paulo, [1951]. Color.

Disponível em: <www.hidrologia.daee.sp.gov.br/CTH.Mapas/index_plu.html>. Acesso em: 05 fev. 2016.

Empresa Metropolitana de Transporte Urbano de São Paulo. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/institucional/quem-somos/sorocaba.fss>> Acesso em 10 jun. 2016.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2008.

FLORINSKY, I.V. 2012. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. Academic Press. Boston. 432 p.

FOODY, G. M.; MATHUR, A. A Relative Evaluation of Multiclass Image Classification by Support Vector Machines. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.42, n.6, 2004.

Fundação João Pinheiro. O desempenho do poder público na área habitacional: um breve retrospecto. In: Déficit habitacional no Brasil. Belo Horizonte. 1995.

GORDON, J.M., BENNETT, S.J., ALFONSO, C.V., BINGNER, R.L., 2008 Modeling long term soil losses on agricultural fields due to ephemeral gully erosion. J. Soil and Water Cons., 63: 173–181.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.

HANSEN, M. C., P. V. POTAPOV, R. MOORE, M. HANCHER, S. A. TURUBANOVA, A. TYUKAVINA, D. THAU, S. V. STEHMAN, S. J. GOETZ, T. R. LOVELAND, A. KOMMAREDDY, A. EGOROV, L. CHINI, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science, v. 34, pp. 850–53. Disponível em:< <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

HENRY, R., Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs, pp. 125-151. In: J. G. Tundisi & M. Straškraba (eds.), Theoretical reservoir ecology and its applications. International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, São Carlos, 585p.1999

HIGHLAND L. M. BOBROWSKY, P. O manual de deslizamento – um guia para a compreensão de deslizamentos. 2008.

HUANG, C.; DAVIS, L. S.; TOWNSHEND, J. R. G. An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 4, p. 725-749, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Introdução ao processamento digital de imagens – Manuais Técnicos em Geociências nº 9. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 94p

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Compartimentos do Relevo, Rio de Janeiro, IBGE, 2000.

IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Proposição de critérios para identificação de áreas prioritárias. Contrato UGL/PDRS/BIRD 02/2013, 2013.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: an earth resource perspective.

HEJDUK S, KASPRZAK K., A contribution to proposals of the width of protective grasslands strips. *Soil and Water*, 4: 30–35.2005.

HEJDUK S., KASPRZAK K., Advantages and risks of grassland stand from the viewpoint of flood occurrence. *Grassland Sci. in Eur.*, 9: 228–230.2004.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E., Change detection techniques , *International Journal of Remote Sensing*, 25:12, 2365-2401, DOI: 10.1080/0143116031000139863, 2005

LEPETIT, B. Sobre a Escala na História. In: Jogos de escalas: a experiência da microanálise. REVEL, J. (org.) Tradução de Dora Rocha. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1998.

MANFRE, L.A; NÓBREGA, R.A.A; QUINTANILHA, J.A. - Regional and local topography subdivision and landform mapping using SRTM-derived data: a case study in southeastern Brazil - *Environmental Earth Sci* (2015) 73:6457-6475

MANFRE, L.A; SILVA A.M; URBAN R.C; RODGERS, J. - Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiúna (the Southeastern Brazilian region) - Environmental Earth Sci (2013) 69:947–957

MELGANI, F.; BRUZZONE, L. Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images with Support Vector Machines. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 42, No. 8, August 2004.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 20, 139–152. 1999

MICHAELIS: moderno dicionário da língua portuguesa. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998-(Dicionários Michaelis).

MOREIRA, I.V.D. Origem e síntese dos principais métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA). (seção 3100, 35 p.). In: MANUAL de avaliação de impactos ambientais. 3 ed., Suplemento 3, Curitiba: SEMA/IAP/GTZ, set. 1999

NAITO, A.T.; CAIRNS, D. M. Patterns of shrub expansion in Alaskan Arctic river corridors suggest phase transition. Ecology and Evolution, v. 5, p. 87–101, 2015.

OTOMO, J. I.; SILVA, S. C.; SANTOS, W. D. S.; MARTINS, E. A. J. ; POMPEO, M. Avaliação de políticas para preservação e recuperação de mananciais de abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo. In: Marcelo Pompêo, Viviane Moschini-Carlos, Paula Yuri Nishimura, Sheila Cardoso da Silva & Julio Cesar López-Doval. (Org.). Ecologia de reservatórios e interfaces. 1 ed. São Paulo: , 2015, v. 1, p. 1-460.

PAL, M.; MATHER, P.M. Support vector machines for classification in remote sensing. International Journal of Remote Sensing, v. 26, n. 5, p. 1007-1011. 2005.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. ZEIS no PDE 2014 Lei 16.050. São Paulo: Secretaria Municipal de Licenciamento - Sel, 2014. Color.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Disponível em:<http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a_cidade/sala_de_imprensa/releases/index.php?p=31265>. Acesso em: 20 mai. 2016.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Habitação de interesse social em São Paulo: desafios e novos instrumentos de gestão. São Paulo: Publisher Brasil, 2008.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília , 20 jun. 1984. Acesso em 20 de setembro 2016

Ratcliffe, D. A. Criteria for the selection of nature reserves. *Advancement of Sciences*, 27. 1971. pp. 294-296.

RACINE, J. B., RAFFESTIN, C., RUFFY, V. Escala e ação, contribuição para uma interpretação do mecanismo de escala na prática da Geografia. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, 45 (1): 123-135, jan/mar. 1983.

REHMAN, O. U.; RASHID, M.; KAUSAR, R.; ALVI, S.; HUSSAIN, R. Slope Gradient and Vegetation Cover Effects on the Runoff and Sediment Yield in Hillslope Agriculture. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(6): 478-483, 2015.

ROLNIK, Raquel. São Paulo. São Paulo: Publifolha, 2001.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J.L.; ROSA, M. R. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 13, p. 77-106. 1999.

SABESP. Companhia de saneamento básico do estado de São Paulo. Disponível em:<http://www.corregolimpo.com.br/corregolimpo/por_que_despoluir/sobre_projeto.asp>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SACO, P.M., WILLGOOSE, G.R., HANCOCK, G.R. Eco-geomorphology of banded vegetation patterns in arid and semi-arid regions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1717–1730. 2007

SANTOS, M. MetrÓpole cooperativa fragmentada: o caso de São Paulo. São Paulo, Ed. Nobel: Secretaria de Estado da Cultura, 1990. 117p.

SANTOS, Rosely Ferreira dos. Planejamento Ambiental teoria e prática. São Paulo, Oficina de textos, 2004.

SILVA, A. M., Schulz, H. E., Camargo, P.B. Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. 2. ed. São Carlos: RIMA, 2007.

SILVA NETO, J. C. A.. Evaluation of vulnerability to loss of soil in watershed of Salobra river, MS, based on the forms of terrain. *Geografia*, v. 22, p. 5-25, 2014.

Silva, J. d. S. V. d., & Santos, R. F. d. (2004). Zoneamento para Planejamento Ambiental: Vantagens e Restrições de Métodos e Técnicas. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 21(2), 221-263

SMA/SP. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Projeto DATAGEO – Avanços e Desdobramentos. São Paulo, 2013. Disponível em:<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2013/03/AP_Datageo_Publico.pdf> Acesso em: 20 mai. 2016.

SPÖRL, Christiane. Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001.

SPÖRL, C., ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 15, p.39 – 49, 2004.

Spörl, Christiane. Metodologia para Elaboração de Modelos de Fragilidade Ambiental Utilizando Redes Neurais Artificiais, 2007.

STRASSERT, Günter. Metodologia de avaliação de impactos ambientais: críticas e exigências. (seção 3110, 20 p.). In: *MANUAL de avaliação de impactos ambientais*. 3 ed. Suplemento 3 - Curitiba: SEMA/IAP/GTZ, set. 1999.

TOU, J. T.; GONZALEZ, R. C. *Pattern Recognition Principles*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 1974.

TRICART, J. – *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p.7-16, 2008.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T. & ROCHA. O., 1999, Theoretical basis for reservoir management, pp. 505-528. In: J. G. Tundisi & M. Straškraba (eds.), *Theoretical reservoir ecology and its applications*. International Institute of Ecology/Backhuys Publishers, São Carlos, 592p.

UHLÍŘOVÁ J, PODHRÁZSKÁ J. 2007. Evaluation of efficiency of the flood and erosion protecting measure-ments. *Pozemkové úpravy*, 61: 10–12

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat Project Description. 2015. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php> Acesso em: 22 abr. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Image Quality VCID 1 - 2. https://lta.cr.usgs.gov/landsat_dictionary.html#image_quality_landsat_8. 2015. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php> Acesso em: 26 fev. 2016.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010.

VANZELA, Luiz. S.; HERNANDEZ, Fernando B. T.; FRANCO, Renato A. M.. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 14, n. 1, p. 55-64, Jan. 2010

VARELLA, Carlos Alberto Alves; SENA JUNIOR, Darly Geraldo. ESTUDO DO INTERPOLADOR IDW PARA UTILIZAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Departamento de Solos Pós-graduação em Ciência do Solo, Rio de Janeiro, p.327-353, 2000. Semestral. Disponível em: <www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IA1328_agricultura_de_precisao/mapeamento/IDW.DOC>. Acesso em: 7 maio 2016.

VAPNIK, V. The Nature of Statistical Learning Theory. New York: Springer-Verlag, 1995.

VEDOVELLO, R. - 2000. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs. Rio Claro (SP); 2000. [Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP]. 154p.

WU, X.; FU REN, F.; NIU. R. Landslide susceptibility assessment using object mapping units, decision tree, and support vector machine models in the Three Gorges of China. *Environmental Earth Sciences*, v. 71, n. 11, p. 4725-4738. 2014.

ZHA, Y., J. GAO, AND S. NI.. "Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery." *International Journal of Remote Sensing* 24: 583–594. 2003

ZHOU, Y., G. YANG, S. WANG, L. WANG, F. WANG, AND X. LIU.. "A New Index for Mapping Built-Up and Bare Land Areas from Landsat-8 OLI Data." *Remote Sensing Letters* 5 (10): 862–871. 2014

8 Anexo A

Tabela 9 - Cenas Utilizadas e seus respectivos metadados.

| Cena- Órbita/Ponto | N° da imagem | Sensor | Data | Qualidade de Imagem | Cobert ura de Nuvens | Cena | Projeç ão | Datu m | Identificador da Imagem |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|
| | | Landsat 5, 7 e 8 | (M/D/A) | 6 até 9 | <15% | Partial/F ull | | | |
| 219/076 | 1 | 8 | 09/23/2015 | 9 | 0,51 | FULL | UTM | WGS- 84 | LC82190762015266 LGN00 |
| 219/077 | 43 | 8 | 01/10/2015 | 9 | 4,56 | FULL | UTM | WGS- 84 | LC82190772015010 LGN00 |
| 220/076 | 113 | 8 | 10/01/2015 | 9 | 2,65 | FULL | UTM | WGS- 84 | LC82190762015010 LGN00 |
| 220/075 | 1 | 8 | 08/29/2015 | 9 | 0.01 | FULL | UTM | WGS- 84 | LC82200752015241 LGN00 |

9 Anexo B

Tabela 10 - Matriz de Confusão do Ponto/Órbita 219/076 do Satélite LandSat8.

| 219/076 | | | | |
|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| Overall Accuracy | 91% | | | |
| Kappa Coefficient | 0,8304 | | | |
| | | | | |
| | Ground Truth (Pixels) | | | |
| Class | Água | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Água/Sombra | 2391 | 1 | 215 | 2607 |
| Vegetação | 0 | 3730 | 430 | 4160 |
| Não Vegetação | 0 | 0 | 192 | 192 |
| Total | 2391 | 3731 | 837 | 6959 |
| | | | | |
| | Ground Truth (Percent) | | | |
| Class | Água | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Água/Sombra | 100 | 0,03 | 25,69 | 37,46 |
| Vegetação | 0 | 99,97 | 51,37 | 59,78 |
| Não Vegetação | 0 | 0 | 22,94 | 2,76 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Commission (%) | Omission (%) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
| Água/Sombra | 8,29 | 0 | 216 / 2607 | 0 / 2391 |

| | | | | |
|---------------|----------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Vegetação | 10,34 | 0,03 | 430 / 4160 | 1/3731 |
| Não Vegetação | 0 | 77,06 | 0 / 192 | 645/837 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Prod. Acc. (%) | User Acc. (%) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
| Água/Sombra | 100 | 91,71 | 2391/2391 | 2391/2607 |
| Vegetação | 99,97 | 89,66 | 3730/3731 | 3730/4160 |
| Não Vegetação | 22,94 | 100 | 192/837 | 192/192 |

Tabela 11 - Matriz de Confusão do Ponto/ Orbits 219/077 do Satélite LandSat8.

| 219/077 | | | | |
|-------------------|------------------------|-----------|---------------|-------|
| Overall Accuracy | 87% | | | |
| Kappa Coefficient | 0,6812 | | | |
| | | | | |
| | Ground Truth (Pixels) | | | |
| Class | Água | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 0 | 0 | 2090 | 2090 |
| Água/Sombra | 13689 | 0 | 41 | 13730 |
| Vegetação | 10 | 1645 | 82 | 1737 |
| Não Vegetação | 0 | 4 | 203 | 207 |
| Total | 13699 | 1649 | 2416 | 17764 |
| | | | | |
| | Ground Truth (Percent) | | | |
| Class | Água | Vegetação | Não Vegetação | Total |

| | | | | |
|---------------|----------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Unclassified | 0 | 0 | 86,51 | 11,77 |
| Água/Sombra | 99,93 | 0 | 1,7 | 77,29 |
| Vegetação | 0,07 | 99,76 | 3,39 | 9,78 |
| Não Vegetação | 0 | 0,24 | 8,4 | 1,17 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Commission (%) | Omission (%) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
| Água/Sombra | 0,3 | 0,07 | 41/ 13730 | 10 / 13699 |
| Vegetação | 5,3 | 0,24 | 92/ 1737 | 4 / 1649 |
| Não Vegetação | 1,93 | 91,6 | 4/ 207 | 2213 / 2416 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Prod. Acc. (%) | User Acc. (%) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
| Água/Sombra | 99,93 | 99,7 | 13689 / 13699 | 13689 / 13730 |
| Vegetação | 99,76 | 94,7 | 1645 / 1649 | 1645 / 1737 |
| Não Vegetação | 8,4 | 98,07 | 203 / 2416 | 203 / 207 |

Tabela 12 - Matriz de Confusão do Ponto/ Orbits 220/075 do Satélite LandSat8.

| 220/075 | | | | |
|------------------|-----|--|--|--|
| Overall Accuracy | 98% | | | |

| | | | | |
|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| Kappa Coefficient | 0,9729 | | | |
| | | | | |
| | Ground Truth (Pixels) | | | |
| Class | Água | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 239 | 0 | 0 | 239 |
| Água/Sombra | 14396 | 0 | 99 | 14495 |
| Vegetação | 1 | 3082 | 115 | 3198 |
| Não Vegetação | 15 | 0 | 10655 | 10670 |
| Total | 14651 | 3082 | 10869 | 28602 |
| | | | | |
| | Ground Truth (Percent) | | | |
| Class | Água | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 1,63 | 0 | 0 | 0,84 |
| Água/Sombra | 98,26 | 0 | 0,91 | 50,68 |
| Vegetação | 0,01 | 100 | 1,06 | 11,18 |
| Não Vegetação | 0,1 | 0 | 98,03 | 37,31 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Commission (%) | Omission (%) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
| Água/Sombra | 0,68 | 1,74 | 99/14495 | 255/14651 |
| Vegetação | 3,63 | 0 | 116/3198 | 0/3082 |
| Não Vegetação | 0,14 | 1,97 | 15/10670 | 214/10869 |

| Class | Prod. Acc. (%) | User Acc. (%) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
|---------------|----------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Água/Sombra | 98,26 | 99,32 | 14396/14651 | 14396/14495 |
| Vegetação | 100 | 96,37 | 3082/3082 | 3082/3198 |
| Não Vegetação | 98,03 | 99,86 | 10655/10869 | 10655/10670 |

Tabela 13 - Matriz de Confusão do Ponto/Orbita 220/076 do Satélite LandSat8.

| 220/076 | | | | |
|-------------------|------------------------|-----------|---------------|-------|
| Overall Accuracy | 67% | | | |
| Kappa Coefficient | 0,5215 | | | |
| | | | | |
| | Ground Truth (Pixels) | | | |
| Class | Agua | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Água/Sombra | 138 | 88 | 0 | 226 |
| Vegetação | 267 | 1977 | 243 | 2487 |
| Não Vegetação | 16 | 425 | 40 | 481 |
| Total | 421 | 2490 | 283 | 3194 |
| | | | | |
| | Ground Truth (Percent) | | | |
| Class | Agua | Vegetação | Não Vegetação | Total |
| Unclassified | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| Água/Sombra | 32,78 | 3,53 | 0 | 7,08 |
| Vegetação | 63,42 | 79,4 | 85,87 | 77,86 |
| Não Vegetação | 3,8 | 17,07 | 14,13 | 15,06 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Commission (%) | Omission (%) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
| Água/Sombra | 38,94 | 67,22 | 88/226 | 283/421 |
| Vegetação | 20,51 | 20,6 | 510/2487 | 513/2490 |
| Não Vegetação | 91,68 | 85,87 | 441/481 | 243/283 |
| | | | | |
| | | | | |
| Class | Prod. Acc. (%) | User Acc. (%) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
| Água/Sombra | 32,78 | 61,06 | 138/421 | 138/226 |
| Vegetação | 79,4 | 79,49 | 1977/2490 | 1977/2487 |
| Não Vegetação | 14,13 | 8,32 | 40/283 | 40/481 |