USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

WALDIR WAGNER CAMPOS-DE SOUZA

**Análise e propostas de procedimentos técnicos para
a elaboração de mapas de paisagem aplicados
no planejamento ambiental da RMSP**

Versão Corrigida

São Paulo
2019

WALDIR WAGNER CAMPOS-DE SOUZA

**Análise e propostas de procedimentos técnicos para
a elaboração de mapas de paisagem aplicados
no planejamento ambiental da RMSP**

Versão Corrigida

Tese apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia Física.

Área de Concentração: Programa de Pós-Graduação de Geografia Física.

Orientadora: Profa. Dra. Sueli Angelo Furlan

São Paulo
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

C198a	<p>CAMPOS-DE SOUZA, Waldir Wagner Análise e propostas de procedimentos técnicos para a elaboração de mapas de paisagem aplicados no planejamento ambiental da RMSP / Waldir Wagner CAMPOS-DE SOUZA ; orientadora Sueli Angelo FURLAN. - São Paulo, 2019. 281 f.</p> <p>Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.</p> <p>1. Paisagem. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Classificadores de Imagem. 4. Ecologia da Paisagem. 5. Planejamento. I. FURLAN, Sueli Angelo, orient. II. Título.</p>
-------	---

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE

Termo de Ciência e Concordância do (a) orientador (a)

Nome do (a) aluno (a): Waldir Wagner Campos de Souza

Data da defesa: 07 / 02 / 2019

Nome do Prof. (a) orientador (a): Sueli Angelo Furlan

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 27 / 02 / 2019

(Assinatura do (a) orientador (a))

Nome: CAMPOS-DE SOUZA, Waldir Wagner

Título: Análise e propostas de procedimentos técnicos para a elaboração de mapas de paisagem aplicados no planejamento ambiental da RMSP.

Tese apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia Física.

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física.

Aprovado em: 07 de fevereiro de 2019.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Profa. Dra. Sueli Angelo Furlan (Presidente e Orientadora)

Instituição: Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (FFLCH – USP)

Dr. Humberto Gallo Junior (Titular)

Instituição: Secretaria do Meio Ambiente – SP (SMA – SP)

Resultado: Aprovado

Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro (Titular)

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (IB – UNESP)

Resultado: Aprovado

Prof. Dr. Ricardo Sartorello (Titular)

Instituição: Universidade de Mogi das Cruzes (UMC)

Resultado: Aprovado

Dedico esse trabalho ao Prof. Dr. Ailton Luchiari pelos momentos de descontração e aprendizado que tivemos juntos.

AGRADECIMENTOS

Espero conseguir expressar com palavras uma justa homenagem e meus sinceros agradecimentos a todos que me acompanharam e colaboraram na importante trajetória de realização da pesquisa. Saibam que nos momentos de angústia e dificuldades vocês foram a minha grande motivação, o fio de esperança que nunca faltou. Tentei fazer o melhor para valorizar o apoio e a contribuição que recebi. Peço desculpas por injustiças que certamente cometerei.

A princípio agradeço às várias instituições envolvidas na pesquisa: ao Departamento de Geografia, da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFFLCH – USP), pela formação científica, vivência acadêmica e apoio financeiro e institucional; ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq) pelo financiamento ao trabalho de pesquisa; aos Laboratórios de Climatologia e Biogeografia (LCB), Laboratório de Pedologia (Laboped) e Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto (LASERE) pelo empréstimo dos equipamentos e disponibilidade das licenças dos programas utilizados na elaboração do trabalho. Ao corpo técnico, **Pablo Luiz Maia Nepomuceno** e **Rogério Rozolen Alves**, pelo atendimento e disponibilidade neste período; ao Departamento de Pós-Graduação, e em especial à funcionária **Maria Aparecida Brambila** pela atenção e destreza com a qual sempre fui atendido.

Agradecimento aos professores, colaboradores, amigos e familiares:

À **Profa. Dra. Sueli Angelo Furlan** agradeço pela amizade, incentivo, orientação e encorajamento. Sou muito grato por todas as oportunidades acadêmicas que só se concretizaram graças aos seus projetos e ideias que gentilmente me incluíram.

Ao **Marcelo Hideki Yamane** obrigado por contribuir diretamente nos trabalhos de campo, obtenção dos resultados, elaboração do texto e indicação de referências.

Ao **Ricardo Sartorello** pela amizade, apoio e inspiração para a realização do trabalho de pesquisa.

Ao **Prof. Dr. Fernando Kawakubo**, pelos apontamentos, sugestões e contribuições feitas na banca de qualificação.

Ao **Prof. Dr. José Alberto Quintanilha** e **Profa. Dra. Mariana Abrantes Giannotti** pelas colaborações científicas e sugestões para a elaboração do trabalho científico.

Minha mãe Cleuza Helena Campos, minha irmã Evelyn Campos Parra e meu cunhado Elton Carlos de Oliveira agradeço pela paciência, cuidado e apoio emocional para a realização da pesquisa e por toda a ajuda nos momentos difíceis da vida.

Ao meu sogro **Paulo Tadeu da Silva** pela ajuda nos trabalhos de campo e minha sogra **Zélia Claret Naves da Silva** pelo apoio e ajuda nos momentos difíceis da vida.

A **Marisa Fabiana da Silva** pelo companheirismo e apoio para a realização da pesquisa e paciência nos momentos que mais precisei.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram com a realização deste trabalho de pesquisa. Sinceramente, muito obrigado!

RESUMO

CAMPOS-DE SOUZA, Waldir Wagner. **Análise e propostas de procedimentos técnicos para a elaboração de mapas de paisagem aplicados no planejamento ambiental da RMSP**. 2018. 281 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2018.

Na Geografia ocorreu uma convergência teórica e metodológica entre a paisagem e o Sensoriamento Remoto. A paisagem é um conceito que orienta análises sistêmicas, com resultados reais e visíveis, definidos por diferentes escalas de interações dos componentes. Tais dimensões explícitas são categorias também presentes no Sensoriamento Remoto, que utiliza técnicas e equipamentos para detectar objetos e interpretar componentes naturais e antrópicos em modelos e mapas temáticos. A Ecologia da Paisagem analisa mapas e dados produzidos pela associação entre classes de cobertura da terra ou de métricas de estrutura da paisagem que indicam as condições atuais, a fragilidade e cenários futuros, destacando a aptidão e conflitos com o uso antrópico. Fornecendo uma abordagem que integra padrões espaciais e processos ecológicos aplicada em estratégias de conservação, no planejamento ambiental e ordenamento territorial. Os mapas são a base para obtenção dos resultados, sendo indispensável garantir uma acurácia que evite erros e proposições incorretas. Os avanços técnicos, os esforços para identificar manualmente classes de cobertura da terra e a menor necessidade de interferência dos analistas tornaram comum a utilização de classificadores automáticos de imagens de satélite. A ausência de protocolos e testes que oriente ou direcione a escolha dos classificadores, considerando os atributos da paisagem, conduzem a análises incorretas ou frágeis. O nosso objetivo foi analisar a adequação de procedimentos metodológicos do Sensoriamento Remoto e da Ecologia da Paisagem em imagens de alta resolução, do satélite RapidEye. Selecionamos uma amostra da paisagem da Região Metropolitana de São Paulo (APRMSP), fizemos uma classificação visual e aplicamos cinco classificadores baseados em pixel, supervisionados e não-supervisionados: *Mahalanobis Distance*, *Maximum Likelihood*, *Spectral Angle Mapper*, *Support Vector Machines* e o *Iterative Self-Organizing Data Analysis* (ISODATA). Calculamos a acurácia geral das classificações, utilizando a matriz de confusão e a estatística Kappa, e a performance dos classificadores com a técnica de votação. Os mapas da Classificação Visual e da Classificação ISODATA, que obteve a maior acurácia geral (78,1%), foram simplificados floresta e não-floresta para o cálculo das métricas nas categorias de mancha, classe, forma e teoria dos grafos. Na classificação visual as unidades mais difíceis de separar foram os pares Solo Exposto e Área Urbanizada, Floresta e Reflorestamento. Nas amostras de referência dos classificadores o menor índice de separação foi entre Reflorestamento e Floresta, Solo Exposto e Área Urbanizada, Área Úmida e Campo e os pares com índices mais elevados foram: Área Úmida e Água, Água e Campo, Água e Floresta. Verificamos que a técnica de votação pode ser utilizada para selecionar um classificador por unidade focal, tendo o ISODATA alcançado o índice mais elevado (83,9%) para Floresta. Os resultados do Mapa da Classificação ISODATA da APRMSP prejudicaram a análise das métricas de Área da Mancha, Índice de Forma, Número de Manchas e Índice Integral de Conectividade. A Porcentagem de Habitat e as tendências gerais

indicadas pelo agrupamento das classes dos mapas não foram prejudicadas. A utilização desses classificadores dependerá da melhora da acurácia geral ou do índice de acerto, por meio de classificações híbridas ou da combinação de classificadores.

Palavras-chave: Paisagem. Sensoriamento Remoto. Classificadores de Imagem. Ecologia da Paisagem. Planejamento.

ABSTRACT

CAMPOS-DE SOUZA, Waldir Wagner. **Analyzes and proposals of techniques procedures for development of landscape maps applied in the environmental planning of the RMSP.** 2018. 281 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2018.

In Geography there was a theoretical and methodological convergence between landscape and the Remote Sensing. Landscape is a concept that guides systemic analyzes, with real and visible results, defined by different scales of component interactions. These explicit dimensions are also present in Remote Sensing which uses techniques and equipments to detect objects and interpret natural and anthropic components in models and thematic maps. Landscape Ecology analyzes maps and data produced by the association between land cover classes or landscape structure metrics that indicate current conditions, fragility and future scenarios, highlighting the aptitude and conflicts with anthropic use. Providing an approach that integrates spatial patterns and ecological processes applied in conservation strategies, environmental planning and spatial planning. The maps are the basis for obtaining results, being indispensable make sure an accuracy that avoids errors and incorrect propositions. Technical advances, efforts to manually identify land cover classes and the less need analysts' decision become common to use automatic classifiers of satellite imagery. The lack of protocols and tests to guide or direct the choice of classifiers, considering landscape attributes, lead to incorrect or weak analyzes. Our goal was to analyze the adequacy of Remote Sensing and Landscape Ecology methodological procedures in high resolution RapidEye satellite images. We selected a landscape sample of the Metropolitan Region of São Paulo (APRMSP), and we did a visual classification and applied supervised and unsupervised five pixel-based classifiers: *Mahalanobis Distance*, *Maximum Likelihood*, *Spectral Angle Mapper*, *Support Vector Machines* and *Iterative Self-Organizing Data Analysis* (ISODATA). We calculated the overall accuracy of classifications using confusion matrix and Kappa statistics, and the classifiers performance by voting technique. The maps of Visual Classification and ISODATA Classification, which had the highest accuracy (78,1%), were simplified in forest and non-forest for the landscape structure metrics calculation in the categories of patch, class, shape and graph theory. In the visual classification the most difficult units to separate were the pairs Exposed Soil and Urbanized Area, Forest and Reforestation. In the reference samples of classifiers, the lowest separate index was between Reforestation and Forest, Exposed Soil and Urbanized Area, Wetland and Field and highest separate index pairs were: Wetlands and Water, Water and Field, Water and Forest. We verified that voting technique can be used to select a classifier considering a focal unit, such as ISODATA that obtained the highest index (83.9 %) for the Forest unit. The results of the ISODATA Classification Map of APRMSP impaired the analysis of Patch Size, Shape Index, Number of Patches and Integral Connectivity Index metrics. The Habitat Proportion and the general trends indicated by grouping of map classes were not impaired. The use of classifiers will depend on the overall accuracy or the rightness index improvement, through hybrid classifications or the classifiers combinations.

Key-words: Landscape. Remote Sensing. Images Classifiers. Landscape Ecology. Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dimensão da tradição holística da Geografia.....	33
Figura 2 – Diagrama representando ganhos (amplificação) e perdas (redução) potenciais dos resultados de trabalhos de campo. Como regra geral, em Geografia, os resultados obtidos com mesmo esforço de levantamento campo perdem precisão com o aumento da escala de análise.....	37
Figura 3 – Relação teórica descrevendo os efeitos da fragmentação da paisagem sobre a conectividade estrutural e a extinção global de espécies. Há um ponto crítico (Pc) indicando um máximo de fragmentação, acompanhado por uma ruptura e queda acentuada das curvas de conectividade e extinção. As tendências são dirigidas pela variável fragmentação, entre os valores 1 e zero. Nas regiões próximas a 1 as paisagens estão conectadas, com disponibilidade de habitat e ocorrência mínima de extinção. Já próximo a zero prevalece o isolamento, a baixa disponibilidade de habitat e valores máximos de extinção.....	47
Figura 4 – Princípios geométricos para o desenho de áreas protegidas. Em cada um dos casos apresentados, de a até f , as condições ecológicas mais desejáveis para a conservação estão nas colunas da esquerda, rotuladas como “ Melhor ”.....	48
Figura 5 – Localização regional da área de estudo.....	51
Figura 6 – Expansão da mancha urbana em um período de 120 anos. Até 1930 a direção leste-oeste era quase exclusiva, passando a predominante em 1952, quando ocorreu uma maior generalização. Em 1972 se consolida como uma massa compacta, que irá crescer aproximadamente 20% entre 1980 e 2008.....	53
Figura 7 – Principais rodovias que atravessam a RMSP, com epicentro no Município de São Paulo. A configuração e a alta capacidade de fluxo de pessoas e produtos ampliaram a urbanização nas bordas da metrópole.....	54
Figura 8 – Considerou-se a precisão gráfica da escala (8,41 ha) e o cadastramento nacional das UCs para o mapeamento. As siglas mencionadas referem-se à Área de Proteção Ambiental (APA), Estação Ecológica (EE), Parque Estadual (PE), Parque Natural Municipal (PNM) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).....	56
Figura 9 – Números absolutos da ocupação em áreas protegidas, na RMSP, entre 1989 e 2010.....	58

LISTA DE FIGURAS

- Figura 10 – RCSB: “1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) bacias cenozóicas do *rift* (1 – Bacia de Itaboraí, 2 – Gráben de Barra de São João, 3 – Bacia do Macacu, 4 – Bacia de Volta Redonda, 5 – Bacia de Resende, 6 – Bacia de Taubaté, 7 – Bacia de São Paulo, 8 – Gráben de Sete Barras, 9 – Formação Pariquêra-Açu, 10 – Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11 – Bacia de Curitiba, 12 – Gráben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas”..... 60
- Figura 11 – Arcabouço geológico da Bacia de São Paulo e sudoeste da Bacia de Taubaté: “1) embasamento pré-cambriano; 2) Formação Resende (sistema de leques aluviais proximais); 3) Formação Resende (sistema de leques medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); 4) Formação Tremembé; 5) Formação São Paulo; 6) Formação Itaquaquetuba; 7) sedimentos quaternários; 8) falhas cenozóicas, em parte reativadas do embasamento pré-cambriano”..... 62
- Figura 12 – Unidades de altitudes da RMSP. Nos tons mais claros, em amarelo e laranja, prevalecem os depósitos sedimentares das formações litoestratigráficas. Os tons escuros estão associados ao embasamento..... 63
- Figura 13 – Unidades geológicas presentes na RMSP. Os tons mais claros de amarelo, no centro da figura, representam os sedimentos e rochas que formam a Bacia de São Paulo..... 64
- Figura 14 – Mapa com a morfologia original da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)..... 65
- Figura 15 – Perfil (SW–NE) topográfico, no Município de São Paulo, com o espigão central (805–815 m), o nível intermediário esculpido nos flancos do espigão (745–740 m) e os baixos terraços fluviais com cascalheiros (725–730 m)..... 67
- Figura 16 – Perfil geológico e compartimentos geomorfológicos em setor entre a Vila Sônia e a Luz, no Município de São Paulo..... 68
- Figura 17 – Mapa com as formas de relevo do Município de São Paulo. A letra A indica o rio Tietê, B o rio Pinheiros, C a Serra da Cantareira e D colinas da Serra do Mar. As classes representadas pela legenda (cima a baixo) são: Água (azul), Planícies de Inundação (tom de verde claro), Terraços (verde), Planaltos (verde escuro), Colinas Convexas (amarelo), Colinas Côncavas (laranja), Montanhas Côncava (vermelho), Montanhas Convexas (marrom)..... 72
- Figura 18 – Representação simplificada das classes geotécnicas. As categorias xisto, aterro e bota fora foram agrupadas. A drenagem sobreposta só aponta os principais rios vinculados aos corpos de água, com destaque para as represas Billings e Guarapiranga, no sul do Município de São Paulo..... 73

LISTA DE FIGURAS

- Figura 19 – Regiões do continente Americano com clima equatorial úmido (1) e monçônico com ventos alísios costeiros (2). A RMSP está inteiramente contida na zona 2..... 76
- Figura 20 – Precipitação média anual (mm) para o período entre 1979–1995, baseada na análise de índices diários de precipitação no Brasil, e médias mensais para o restante da América do Sul..... 77
- Figura 21 – Precipitação média (mm/dia) sazonal na América do Sul, para o período de 1979 a 2010. Na imagem que representa a média de precipitação no inverno, referenciada pela letra c, é possível observar que o setor central do Brasil, que inclui o Estado de São Paulo e a Região Metropolitana de São Paulo, tem índices próximos ou inferiores a 1 mm/dia..... 78
- Figura 22 – Temperatura média mensal compensada ($^{\circ}\text{C}$), obtida pelo cálculo das Normais Climatológicas do Brasil (1961–1990). São apresentados os meses de janeiro (verão), maio (outono), julho (inverno) e outubro (primavera). É possível verificar que, no Estado de São Paulo, as temperaturas altas no verão contrastam com índice mais baixo no inverno..... 79
- Figura 23 – Precipitação (mm) média mensal, para o Estado de São Paulo, no período de 1901 a 2007. As chuvas são mais abundantes nos meses de primavera-verão (1, 2, 3 e 12), ocorrendo uma nítida escassez no outono-inverno (5, 6, 7 e 8)..... 80
- Figura 24 – Atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), registrada no dia 14/01/2011, às 20:00 UTC (17 h local). Os bastões em vermelho mostram a direção desse sistema atmosférico. Caracterizado como uma banda de nebulosidade, entre a Amazônia e o Atlântico Sul, que intensifica as chuvas regionais no sudeste brasileiro..... 81
- Figura 25 – Esquema dos sistemas atmosféricos que atuam no verão, na América do Sul. São representados os ventos alísios de nordeste (ANE), os ventos alísios de sudeste (ASE), o anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS), baixa pressão atmosférica — ciclone — (B), os complexos convectivos de mesoescala (CCM), uma frente fria (FF), uma frente quente (FQ), o jato de baixos níveis a leste dos Andes (JBN), o Trópico de Capricórnio (Tróp Cap), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)..... 82
- Figura 26 – Precipitação (mm) anual acumulada para o Estado de São Paulo. O eixo vertical indica as latitudes ($^{\circ}$), e o horizontal as longitudes ($^{\circ}$). Verifica-se um padrão em “faixa”, no qual, o índice de precipitação diminui a partir da região costeira..... 83
- Figura 27 – Unidades pluviométricas médias (1941 a 1970) da RMSP. O gradiente indica uma tendência de redução das chuvas, em faixa, na direção aproximada sudeste–noroeste. As vertentes da Serra do Mar e de Paranapiacaba organizam essa distribuição..... 84

LISTA DE FIGURAS

- Figura 28 – Estimativa e distribuição da chuva (mm) acumulada, com base em dados do radar meteorológico de São Paulo, para 18 eventos de enchentes associados à interação da brisa marítima com as circulações da RMSP. A circunferência indica o raio de alcance do radar (240 km)..... 85
- Figura 29 – Imagem do satélite LANDSAT-7 (canal termal – banda 6) às 10:00 horas local do dia 03/09/1999. Os tons entre o amarelo e o vermelho assinalam a concentração de calor em contraste com os de azul, com temperaturas mais amenas, menor em até 8 °C..... 87
- Figura 30 – Distribuição das classes de tamanho dos fragmentos florestais para toda a região da Floresta Atlântica no Brasil. %A: porcentagem de área total; %NP: porcentagem de número de fragmentos..... 89
- Figura 31 – Cobertura vegetal, baseada no inventário de 2009 do Instituto Florestal de São Paulo, associada às Unidades de Conservação (UCs) na RMSP. As UCs, cadastradas no MMA, foram representadas com precisão gráfica de 8,41 ha e as manchas de vegetação com 0,36 ha (escala aproximada de 1:300.000). É importante observar as represas como barreiras efetivas à conectividade dos fragmentos..... 91
- Figura 32 – Áreas com os fragmentos de florestas maduras selecionadas. **M**: Marsilac, São Paulo; **Q**: Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia; **I**: Itapevi..... 92
- Figura 33 – “Riqueza das famílias das árvores que ocorreram com cinco ou mais espécies” em fragmentos maduros da RMSP. **T**: total; **M**: Marsilac, São Paulo; **Q**: Reserva Florestal do Morro Grande; **I**: Itapevi..... 92
- Figura 34 – Densidade das espécies arbóreas em florestas maduras, na RMSP (Marsilac, São Paulo; Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia; Itapevi)..... 93
- Figura 35 – Resultados dos parâmetros quantitativos das espécies amostradas. N: número de indivíduos; DA: densidade absoluta (ind.ha⁻¹); DR: densidade relativa (%); DoA: dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR: dominância relativa (%); FA: frequência absoluta (%); FR: frequência relativa (%); VI: valor de importância..... 94
- Figura 36 – Uso e Ocupação da RMSP produzido pela EMPLASA, em 2002. As classes de uso e ocupação foram representadas por 0,25 ha (escala aproximada de 1:250.000). A Área Urbanizada tem um padrão homogêneo, aproximadamente no centro da paisagem, enquanto o cinturão verde é heterogêneo e combina complexas funções de produção e conservação em áreas de dimensões muito variadas (pequenos módulos agrícolas à grandes contínuos florestais)..... 98
- Figura 37 – População concentrada no Município de São Paulo e nos municípios fronteiriços das sub-regiões oeste, leste e sudeste..... 99
- Figura 38 – Observa-se o predomínio da população urbana na RMSP, com índice médio de 98,93%. Os maiores percentuais estão na circunvizinhança de São Paulo..... 99

LISTA DE FIGURAS

Figura 39 – Participação da produção agrícola da RMSP no mercado estadual e nacional.....	100
Figura 40 – Assoreamento em córrego de Embu-Guaçu, na RMSP, a jusante de uma mina desativa de caulim.....	103
Figura 41 – Plantio de gramíneas para estabilizar o talude de uma barragem de rejeitos, em Guarulhos, na RMSP.....	104
Figura 42 – Localização da amostra da área de estudo. A Amostra da Paisagem da RMSP (APRMSP) tem 25.348,67 ha.....	106
Figura 43 – Os diferentes setores da APRMSP e a Represa Guarapiranga definidos na imagem RapidEye. Os Fragmentos de Floresta Ombrófila Densa e a Área Urbanizada foram extraídos dos mapeamentos do Instituto Florestal (2009) e da EMPLASA (2002)....	107
Figura 44 – Articulação das cenas RapidEye na amostra da área de estudo. Destacam-se as informações quanto à identificação, data e hora de aquisição das imagens.....	117
Figura 45 – A figura 1 é uma imagem de sensoriamento remoto, uma matriz formada por linhas e colunas (x, y) com os valores médios de níveis de cinza ou <i>digital number</i> (z). A figura 2 é uma imagem classificada, definida pelo agrupamento dos pixels (células) que têm valores espectrais similares. A classe “A” é definida pelos valores de brilhos 6, 7, 8 e 9 e a classe “B” por 0, 1, 2 e 3.....	118
Figura 46 – O gráfico A é um histograma bimodal, indicando uma amostra heterogênea com dois grupos de pixels diferentes (dois picos). O gráfico B é um histograma uni-modal, com amostras uniformes de valores de brilho, condição adequada para fornecer uma base para classificação de uma imagem.....	121
Figura 47 – Processo decisório da distância Euclidiana. A distância entre o pixel A e B é maior que entre A e C. Dessa forma A e C deverão pertencer à mesma classe e B deverá integrar outra classe.....	122
Figura 48 – Modelo decisório do MD. A forma geral dos agrupamentos é uma elipsoide. Embora a distância entre o pixel e os dois centros dos agrupamentos seja a mesma, o pixel será classificado no agrupamento a, que tem valor mais alto de variância-covariância, tornando menor a importância da distância.....	124
Figura 49 – No primeiro gráfico as classes diferentes são mais facilmente separadas, o vetor de valor médio e a matriz de covariância são diferentes nas bandas 1 e 2. Enquanto no segundo gráfico o vetor de valor médio é o mesmo para as classes, que serão separadas pela diferença na matriz de covariância.....	124
Figura 50 – Distribuição Normal ou Gaussiana. Na zona de sobreposição os valores dos pixels são comuns às duas classes, sendo aplicada a regra de decisão. Como a probabilidade é sobre todo o domínio espectral, uma classificação será produzida mesmo nas “caudas” das funções de distribuição.....	126

LISTA DE FIGURAS

- Figura 51 – Os limites de decisão do classificador ML são representados pela linha contínua na cor magenta. Os pixels (+) do espaço de atributos são indicados pelos números 1, 2, 3. Nas cores azul, vermelho e verde são indicadas as curvas de probabilidade para as classes **A**, **B** e **C**. Os números, em porcentagem, de cada curva são calculados com base nos parâmetros estatísticos das áreas de treinamento. O pixel 3 pertencer à classe **C** devido a forma das elipses..... 127
- Figura 52 – Contornos das regiões de decisão do ML, com forma elíptica ou circular, para as classes informadas. A covariância explica as diferenças nas formas e a classificação do pixel 1 na classe “Agricultura” e 2 em “Urbano”. Pela regra de probabilidade é fácil visualizar a alocação do pixel 1 no contorno de equiprobabilidade mais próximo. No caso do pixel 2 a sensibilidade da forma mais circular define a classificação. O pixel 3 tem probabilidades similares para as classes “Capoeira com Arbustos” e “Urbano”, o que tornará imprecisa sua classificação..... 128
- Figura 53 – Um espectro do pixel **t** da imagem é comparado com o espectro **r**, de referência, em uma feição do espaço de duas dimensões. No gráfico **A** os dois vetores têm componentes que são medidos em uma escala entre 0 e 255, e então o ângulo θ terá um alcance de 0° a 90° , assim $0 \leq \cos(\theta) \leq 1$. Em **B** os elementos dos vetores **t** e **r** não possuem restrições de alcance, e θ tem alcance de 0° a 360° (2π radianos) com o cosseno variando entre -1 e 1 ($-1 \leq \cos(\theta) \leq 1$).. 130
- Figura 54 – Em **a** estão representados os pixels e seus vetores de direção angular; em **b** os pixels são agrupados em duas classes diferentes, considerando o melhor ângulo de segmentação..... 132
- Figura 55 – Agrupamento compacto (A) e alongado (B) em duas dimensões espaciais. O agrupamento (B) tem um desvio-padrão S_x e S_y nas bandas 1 e 2 respectivamente. O valor de S_x é maior que o especificado como limite para as interações, ocorrendo a divisão na linha XY..... 133
- Figura 56 – Exemplo de SVM binário de separação linear pelo vetor que melhor separa duas classes, em um mesmo espaço vetorial (hiperplanos). Os pontos preenchidos pretos identificam os vetores (únicos) que definem o hiperplano ótimo ou ideal de decisão..... 135
- Figura 57 – Modelo SVM separando um conjunto de dados em duas classes. Nesse caso é possível identificar a regra de decisão e os vetores que determinam a margem e a direção do hiperplano no espaço de atributos..... 136
- Figura 58 – Função *kernel* separando dados em um espaço de alta-dimensão..... 137
- Figura 59 – Distribuição das amostras de treinamento para as classificações supervisionadas da APRMSP. A imagem de fundo, na combinação G-R-NIR, ilustra o resultado do mosaico das cenas. A cor e a tonalidade foram aplicadas para favorecer a visualização..... 141
- Figura 60 – Modelo de uma Matriz de Confusão – 2009..... 143

LISTA DE FIGURAS

Figura 61 – Mapas de cobertura e uso da terra do Planalto de Ibiúna, no Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. A tradução abaixo da legenda visa facilitar a leitura.....	152
Figura 62 – Um grafo ou rede é formado pelos componentes: nó, ligação e bloco (componentes ou região conectada). Estão ilustrados na imagem dois blocos de habitat, com diferentes graus de conectividade. O nó 12 é importante por conectar muitos nós de um mesmo ramo do grafo. Os nós 5, 6, 7 e 11 fazem a intermediação entre um bloco agrupado (1–5) e fragmentos não agrupados, mas conectados (7–11).....	159
Figura 63 – Diagrama do fluxo de trabalho do desenvolvimento da pesquisa.....	165
Figura 64 – Mapa da Classificação Visual da APRMSP.....	167
Figura 65 – Aglomeração de habitações em Capão Redondo, no PST1-6 (APÊNDICE B).....	166
Figura 66 – Instalações industriais no distrito do Jaguaré, no PST1-13 (APÊNDICE B).....	168
Figura 67 – Visualização, em segundo plano, da transição entre solo exposto e campo, no distrito de Parelheiros, no PST3-6 (APÊNDICE B).....	169
Figura 68 – Pastagem em fazendas nas margens da represa Guarapiranga, observadas do PST3-12 (APÊNDICE B).....	169
Figura 69 – Reflorestamento com eucaliptos de porte médio na vila Andrade, no PST1-11 (APÊNDICE B).....	170
Figura 70 – Fragmento florestal isolado pela AU, no bairro Parque do Lago no distrito do Jardim Angela, em PST2-5 (APÊNDICE B).....	171
Figura 71 – Fragmento com tamanho de 130 ha, no bairro Parque do Lago no distrito do Jardim Angela, em PST2-3 (APÊNDICE B).....	171
Figura 72 – Área Úmida na planície de inundação da represa Guarapiranga no PST3-12 (APÊNDICE B).....	172
Figura 73 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de AU. A linha pontilha, no fundo do gráfico, aponta a tendência de elevação das curvas com a concentração do número digital dos pixels amostrados.....	172
Figura 74 – Gráficos e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de SE. A linha pontilha, no fundo do gráfico, é uma referência para observar os intervalos de concentração do número digital dos pixels amostrados. No segundo gráfico estão as bandas mais adequadas para o classificador ML.....	174
Figura 75 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de CP. A linha pontilha, no fundo do gráfico, indica a tendência de elevação das curvas e concentração da frequência do número digital dos pixels amostrados.....	175
Figura 76 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de RF. A linha pontilha, no fundo do gráfico, indica tendência de elevação das curvas com a concentração do número digital dos pixels amostrados.....	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 77 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de FL. A linha pontilha, no fundo do gráfico, destaca o ponto de ruptura no valor de contagem de 30 para apontar a tendência do aumento da concentração do número digital dos pixels amostrados.....	177
Figura 78 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de AD. A linha pontilha, no fundo do gráfico, com o valor de contagem de 5 pixels aponta a tendência de acúmulo da concentração dos valores de DN nas bandas da imagem.....	178
Figura 79 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de AG. A linha pontilha, no fundo do gráfico, indica o valor de 10 pixels como referência para as rupturas de tendência de inclinação das curvas.....	179
Figura 80 – Gráficos de espalhamento entre as duas bandas menos correlacionadas da imagem; gráfico de espalhamento considerando todas as dimensões espectrais da imagem; e quadro com os índices de separação entre pares de amostras de referência para as UPs. Nos gráficos a cor cinza representa AU, vermelho SE, amarelo CP, magenta RF, verde FL, azul claro AD e azul escuro AG.....	180
Figura 81 – Mapa da classificação <i>Mahalanobis Distance</i> da APRMSP.....	181
Figura 82 – Mapa da classificação <i>Maximum Likelihood</i> da APRMSP.....	182
Figura 83 – Mapa da classificação <i>Spectral Angle Mapper</i> da APRMSP.....	183
Figura 84 – Mapa da classificação <i>Support Vector Machines</i> da APRMSP.....	184
Figura 85 – Mapa da classificação ISODATA da APRMSP.....	185
Figura 86 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação <i>Mahalanobis Distance</i> da APRMSP.....	186
Figura 87 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação <i>Maximum Likelihood</i> da APRMSP.....	187
Figura 88 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação <i>Spectral Angle Mapper</i> da APRMSP.....	187
Figura 89 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação <i>Support Vector Machines</i> da APRMSP.....	188
Figura 90 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação ISODATA da APRMSP.....	189
Figura 91 – No quadro superior são apresentadas as frequências das UPs nos pontos de controle e avaliação dos mapas da classificação visual, MD, SAM, SVM e ISODATA da APRMS. No segundo quadro estão os índices (%) de acerto das UPs por classificador. O cabeçalho “média” na coluna, incluindo a última célula, é referente às UPs e na linha aos classificadores. O ponto foi utilizado como separador decimal.....	190
Figura 92 – Matriz de confusão das UPs geradas pelos classificadores com melhor desempenho na votação.....	190

LISTA DE FIGURAS

Figura 93 – Gráfico com a acurácia geral das classificações e do resultado da votação, no eixo de barras, sobreposto por um eixo de linhas com a estatística Kappa. O ponto foi utilizado como separador decimal.....	191
Figura 94 – Mapa de classes de área dos fragmentos florestais da classificação visual da APRMSP	193
Figura 95 – Mapa de classes de área dos fragmentos florestais da classificação ISODATA da APRMSP	194
Figura 96 – A imagem superior detalha um trecho de ST1, do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação visual; e a imagem inferior do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação ISODATA. A localização destaca o contato entre os fragmentos da Cidade Universitária da USP e a AU do distrito do Butantã.....	195
Figura 97 – A imagem superior detalha um trecho de ST3, do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação visual; e a imagem inferior do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação ISODATA. A região em foco é a zona de amortecimento do PNM-Jaceguava, nas margens do trecho sul do Rodoanel Mário Covas.....	196
Figura 98 – Mapa de classes de forma dos fragmentos florestais da classificação visual da APRMSP.....	197
Figura 99 – Mapa de classes de forma dos fragmentos florestais da classificação ISODATA da APRMSP.....	198
Figura 100 – O gráfico superior mostra os valores da classificação visual de NP e SHAPE agrupados nas classes de área. No gráfico inferior são os valores de NP e SHAPE, da classificação ISODATA, que estão agrupados pela área. O ponto foi utilizado para separação decimal e os gráficos apresentados em escala logarítmica.....	201
Figura 101 – Mapa de classes da importância dos fragmentos florestais para a conectividade da classificação visual dos setores da APRMSP.....	202
Figura 102 – Mapa de classes da importância dos fragmentos florestais para a conectividade da classificação ISODATA dos setores da APRMSP...	203

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Municípios Paulistas Produtores de Brita e Cascalho – 2010 a 2014.....	102
Tabela 2 – Principais Municípios Paulistas Produtores de Areia – 2010 a 2014...	102
Tabela 3 – Chave de Identificação das Unidades de Paisagem (UPs) com exemplos que descrevem AU, SE, CP e RF nas composições: verde, vermelho e infravermelho próximo (G-R-NIR); vermelho, borda do vermelho e infravermelho próximo (R-ER-NIR); e azul, verde e vermelho (B-G-R) – 2018.....	110
Tabela 4 – Chave de Identificação das Unidades de Paisagem (UPs) com exemplos que descrevem FL, AD e AG nas composições: verde, vermelho e infravermelho próximo (G-R-NIR); vermelho, borda do vermelho e infravermelho próximo (R-ER-NIR); e azul, verde e vermelho (B-G-R) – 2018.....	111
Tabela 5 – Características dos sistemas imageadores dos satélites RapidEye: tipo de sensor, altitude orbital, bandas espectrais e resolução espectral – 2015.....	116
Tabela 6 – Características dos sistemas imageadores dos satélites RapidEye: resolução espectral, resolução temporal, faixa imageada e resolução radiométrica – 2015.....	116
Tabela 7 – Padronização do tamanho das amostras de treinamento, relacionando a frequência acumulada dos componentes, que é igual à soma da quantidade de feições do Mapa da Classificação Visual da APRMSP – 2018.....	120
Tabela 8 – Quantidade total e média de pixel nas amostras de referência para as UPs da APRMSP – 2018.....	140
Tabela 9 – Valores absolutos e em porcentagem (%) da frequência (F) e das áreas totais das UPs comparados à frequência dos pontos de controle, na APRMSP – 2018.....	145
Tabela 10 – Métricas de estrutura da paisagem das categorias mancha, classe, forma e teoria dos grafos – 2016.....	156
Tabela 11 – Descrição das fórmulas das métricas de estrutura da paisagem das categorias mancha, classe, forma e teoria dos grafos – 2016.....	157
Tabela 12 – Resultado do PLAND para FL e Não-FL, das classificações visual e ISODATA da APRMSP – 2018.....	191
Tabela 13 – Frequência e soma da área de NP, da classificação visual da APRMSP, agrupadas em função das classes de áreas – 2018.....	200
Tabela 14 – Frequência e soma da área de NP, da classificação ISODATA da APRMSP, agrupadas em função das classes de áreas – 2018.....	200
Tabela 15 – Frequência de NP, da classificação visual da APRMSP, agrupadas em função das classes de IIC – 2018.....	205
Tabela 16 – Frequência de NP, da classificação ISODATA da APRMSP, agrupadas em função das classes de IIC – 2018.....	205

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Pontos de Identificação das amostras de referência na APRMSP.....	230
APÊNDICE B – Formulários dos Trabalhos de Campo na APRMSP.....	245
APÊNDICE C – Dados utilizados nas técnicas de avaliação das classificações e dos classificadores: matriz de confusão, estatística Kappa e votação.....	268

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da Mancha
AG	Água
ANA	Agência Nacional de Águas
APMs	Áreas de Proteção aos Mananciais
APRMSP	Amostra da Paisagem da RMSP
AD	Área Úmida
AU	Área Urbanizada
CP	Campo
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
FL	Floresta
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
IIC	Índice Integral de Conectividade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISODATA	<i>Iterative Self-Organizing Data Analysis</i>
LUPA	Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo
MD	<i>Mahalanobis Distance</i>
ML	<i>Maximum Likelihood</i>
DN	Número Digital
NP	Número de Manchas
PLAND	Proporção ou Porcentagem de Habitat
PNM	Parque Natural Municipal
PST	Ponto do Setor
RF	Reflorestamento
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAM	Spectral Angle Mapper
SCCON	Santiago & Cintra Consultoria
SE	Solo Exposto
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SHAPE	Índice de Forma
ST	Setor
SVM	<i>Support Vector Machines</i>
UCs	Unidades de Conservação
UP	Unidade de Paisagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	26
1.1 Hipótese	31
1.2 Objetivo Geral	31
1.3 Objetivos Específicos	31
1.4 Grandes Campos da Geografia	32
2 BASES TEÓRICO-CONCEITUAIS	38
2.1 Paisagem e Ecologia da Paisagem	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1 Caracterização da Área de Estudo	51
3.1.1 Contexto Geológico e Geomorfológico	59
3.1.2 Aspectos Climáticos	74
3.1.3 Cobertura Vegetal e Tipos de Solos	87
3.1.4 Caracterização Antrópica do Uso da Terra	97
3.1.5 Amostra da Área de Estudo	105
3.2 Imagens RapidEye	114
3.3 Classificadores de Imagem de Satélite	117
3.3.1 <i>Mahalanobis Distance</i> (MD)	123
3.3.2 <i>Maximum Likelihood</i> (ML)	125
3.3.3 <i>Spectral Angle Mapper</i> (SAM)	129
3.3.4 <i>Iterative Self-Organizing Data Analysis</i> (ISODATA)	132
3.3.5 <i>Support Vector Machines</i> (SVM)	135
3.3.6 Técnicas de Avaliação das Classificações e dos Classificadores	139
3.4 Métricas de Estrutura da Paisagem	148
3.4.1 Seleção das Métricas de Estrutura da Paisagem	155
3.5 Procedimentos	162
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	166
4.1 Avaliação das Classificações e dos Classificadores	186
4.2 Análise Comparada da Estrutura da APRMSP	191
5 CONCLUSÃO	206
REFERÊNCIAS	208
APÊNDICES	230

1 INTRODUÇÃO

Há uma coincidência entre as trajetórias da paisagem e do Sensoriamento Remoto na Geografia. O avanço técnico introduzido pela fotografia aérea e a fotogrametria tiveram uma afinidade espontânea com a cartografia, o trabalho de campo e a abordagem holística. Uma composição profícua para a investigação geográfica que se consolida como uma ciência de síntese das inter-relações dos elementos ou componentes da paisagem. O esforço anterior para a obtenção de dados naturais e socioeconômicos limitava a análise dos resultados, relegando à Geografia um papel descritivo (COONES, 1999a; KLINK, 1981; SHENG, 2011; TROLL, 2007).

A paisagem foi posicionada em uma confraria de conceitos nucleares da organização teórico-metodológica da Geografia, ao lado de espaço, lugar, região e área. Uma nova perspectiva científica ancorada em associações complexas de objetos muito distintos e com um princípio norteador básico: a existência de fenômenos definida pela escala de análise (COONES, 1999b; TROLL, 2007; WYLIE, 2011).

As revisões científicas convergiram para o entendimento da paisagem como uma entidade real e visível, formada pelo resultado da interação de componentes ambientais, socioeconômicos e culturais. Registrar e monitorar a evolução da paisagem são contribuições decisivas do Sensoriamento Remoto para as técnicas de quantificação e avaliação de modelos espaciais preditivos (COONES, 1999b; MONTEIRO, 2000; NOVO, 2008; SHENG, 2011; TROLL, 2007; WYLIE, 2011).

A cobertura sinótica introduzida pelos satélites permitiu reconhecer padrões e processos mais facilmente que a partir do solo. É possível analisar eventos e fenômenos registrados pela radiação eletromagnética, inclusive em comprimentos de ondas invisíveis ao olho humano. As imagens produzidas tornaram-se a referência mais importante para o levantamento de dados primários em diversas resoluções espaciais, espectrais e temporais. Facilitando a elaboração de mapas de uso e cobertura da terra, em áreas extensas ou de difícil acesso, para monitorar a dinâmica da paisagem (ANDERSON et al., 1983; CABACINHA; CASTRO, 2009; SHENG, 2011).

Mas a possibilidade de acumular e gerar um grande volume de informações também representa um desafio para analistas e pesquisadores. Já que as limitações

para identificar, extrair, condensar e realçar feições de interesse são constantemente superadas pela maior capacidade de processamento e armazenamento dos computadores, sensores dedicados ao levantamento de recursos naturais, cobertura sinótica adequada, disponibilização gratuita de imagens (destaque para o pioneirismo do programa LANDSAT) e de aplicativos de geoprocessamento. Surge o desejo de potencializar ao máximo a aplicação desses recursos, muitas vezes, sem considerar as limitações cognitivas de apreensão e compreensão das técnicas e dos resultados gerados, a relevância dos parâmetros como substitutivos dos elementos ou unidades e processos da paisagem e a qualidade intrínseca dos dados utilizados nas análises (CAMPBELL; WYNNE, 2011; CONGALTON; GREEN, 2009; CROSTA, 1999; GUSTAFSON, 1998; LINDENMAYER et al., 2002; LUSTIG et al., 2015; RAMEZANI et al., 2013; SHENG, 2011; NOVO, 2008).

As inovações tecnológicas e instrumentais viabilizaram o desenvolvimento da Ecologia da Paisagem. A influência dos trabalhos de planejamento e conservação de reservas naturais foi decisiva para ampliar o alcance dessa abordagem aplicada da paisagem, que integra padrões espaciais, processos ecológicos e atividades antrópicas. Relacionando as categorias geográficas de representação do espaço e ecológicas de funcionalidades do ecossistema (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; METZGER, 2001; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Os mapas são os documentos centrais da análise e apresentação de resultados na Ecologia da Paisagem. Por meio da classificação de imagens de satélite é possível representar componentes naturais e antrópicos em modelos espaciais categorizados por mancha, corredor e matriz ou em classes de unidades que sintetizam a sobreposição de informações. A configuração da paisagem fornece inferências quanto às respostas ecológicas e a adequação das atividades antrópicas ao ambiente (FAHRIG, 2003; FORMAN; GODRON, 1986; LANG; BLASCHKE, 2009; METZGER, 2006; RAMEZANI et al., 2013; SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; RAMÓN, 2013; SZILASSI et al., 2017; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

A análise dos modelos espaciais pode ser fundamentada na associação de classes de uso e cobertura da terra ou na aplicação de métricas de composição e configuração da paisagem. Em ambos os casos o resultado obtido será uma extensão do mapeamento utilizado como base. A classificação de imagens de

satélite é o procedimento mais empregado para distinguir e identificar alvos da paisagem com diferentes assinaturas espectrais. No entanto, escolher dentre as técnicas disponíveis envolve um balanço entre acurácia e eficiência. Delimitar manualmente as classes permite alcançar valores elevados de acurácia, mas exige um cronograma custoso de atividades; a opção pelo uso de algoritmos automáticos produz resultados imediatos e com menor subjetividade que a fotointerpretação, porém, observam-se frequentemente muitos erros de classificação (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; LANG; BLASCHKE, 2009; LIU et al., 2014; SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; RAMÓN, 2013; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

As classificações automáticas de imagens, baseadas em pixel, são as técnicas mais difundidas. Vanguarda alcançada pelo desenvolvimento dos primeiros algoritmos e maior divulgação técnico-científica a partir década de 1970. A identificação das classes segue regras estatísticas e geométricas definidas por dois métodos decisórios: supervisionados e não-supervisionados. A classificação supervisionada é guiada por amostras de treinamento, identificadas por um analista, e a não-supervisionada utiliza o valor temático (espectros “puros” da imagem) sem amostras de referência (ANDERSON et al., 1983; CAMPBELL; WYNNE, 2011; GORTE, 1999; JENSEN, 2009; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; MAZER, 1988; PUGLIERO et al., 2013; RICHARDS, 2013a; RICHARDS, 2013b).

Apesar do avanço introduzido pelos recursos de processamento automático de imagens é necessário cautela com o uso dos dados gerados. A utilização de classificadores individuais muitas vezes ocorre por critérios subjetivos e práticos, de comparação visual dos padrões de reconhecimento obtidos, que são diretamente adotados na interpretação das imagens. Mapas de qualidade ruim, com erros e baixa acurácia, poderão conduzir a análises incorretas ou frágeis, pela Ecologia da Paisagem, em aplicações na conservação, no planejamento ambiental e no ordenamento territorial (CONGALTON; GREEN, 2009; METZGER, 2006; SHENG, 2011).

A nossa proposta de pesquisa insere-se na lacuna de estudos sobre a adequação dos mapeamentos temáticos da paisagem. Analisaremos a influência de diferentes tipos de uso e cobertura da terra, de algoritmos de classificação de imagens de satélite (classificadores de imagem) e de métricas de análise da estrutura da paisagem. Os testes e avaliações serão executados em imagens de alta

resolução dos satélites RapidEye, em uma amostra da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (EMPLASA, 2002, 2017; GALVÃO, 2011; POLYCHRONAKI et al., 2014; SCHUSTER, 2014).

A amostra da área de estudo foi definida por meio da repetição dos padrões espaciais (estrutura e composição) que condicionam a heterogeneidade da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; MCGARIGAL, 2015; RAMEZANI et al., 2013; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). A RMSP concentra parte significativa da população (10,2%) e atividades produtivas (17,2%) do Brasil (EMPLASA, 2017; IBGE, 2017a, 2017b). Os componentes naturais e antrópicos compartimentaram o uso e cobertura da terra, concentrando a população, o sistema viário e as construções para residências, indústrias, comércio e serviços nos terrenos centrais da Bacia Sedimentar de São Paulo, com topografia suave, favorável à ocupação. A menor densidade populacional e as construções esparsas estão no entorno da área urbanizada, no domínio do Planalto Atlântico, no compartimento do cinturão verde onde predominam atividades e serviços ecossistêmicos para o abastecimento da metrópole, como os módulos hortifrutigranjeiros, os grandes remanescentes florestais e os mananciais (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; ALMEIDA, 1974; BUENO, 2013; IPT, 1981; LUZ, 2010, 2015; RODRIGUES, 2005, 2015; ROSS; MOROZ, 1997; SÃO PAULO, 2017a; SEADE, 2017; SILVA, 2013).

A dinâmica da paisagem, na RMSP, é uma consequência da interação entre os processos de ambientes em melhores condições de conservação, no cinturão verde, com as atividades antrópicas da área urbanizada. Nós iremos focar nos fragmentos de vegetação por serem os componentes de espectro mais amplo e importante como síntese das interações dos sistemas ambientais (KLINK, 1981; ROSS, 2009; TROLL, 2007).

Nas etapas iniciais faremos a classificação visual dos padrões registrados e em seguida aplicaremos cinco classificadores automáticos de imagens de satélite baseados em pixel, quatro supervisionados e um não-supervisionado: o *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e o *Iterative Self-Organizing Data Analysis* (ISODATA). Utilizamos os métodos da matriz de confusão e do índice Kappa para quantificar a acurácia dos mapas e a técnica de eleição (maioria simples de votos) para calcular o desempenho dos classificadores individuais. O mapa com a maior

acurácia foi simplificado em mapa binário de manchas de floresta (habitat e não-habitat), com a presença ou ausência do habitat adequado para o cálculo das métricas de estrutura da paisagem, das categorias gerais de mancha, classe, forma e teoria dos grafos (CAMPOS, 2013; CAMPOS et al., 2016; CAMPBELL; WYNNE, 2011; CONGALTON; GREEN, 2009; GORTE, 1999; IWAI; QUINTANILHA, 2005; RICHARDS, 2013a; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; KRUSE et al., 1993; LANG; BLASCHKE, 2009; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; LIU et al., 2014; MATHER; KOTCH, 2011; MCGARIGAL; MARKS, 1995; MCGARIGAL, 2015; MENESES; ALMEIDA, 2012; METZGER, 2006; METZGER et al., 2008; MINOR; URBAN, 2008; MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011; PUGLIERO et al., 2013; RICHARDS, 2013a; 2013b; TSO; MATHER, 2009a, 2009b; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007).

Os resultados da nossa pesquisa poderão provar que a ausência de critérios e testes em procedimentos de elaboração de mapas temáticos, com classificadores automáticos de imagens de satélite, acumulam erros que interferem nas análises da Ecologia da Paisagem em modelos binários, habitat e não-habitat, para quantificar a cobertura vegetal. Teremos também a possibilidade de demonstrar protocolos de mapeamentos e a influência de diferentes unidades e configurações da paisagem para a geração de mapas; indicar aplicações para as imagens RapidEye, considerando os resultados da acurácia em levantamentos de paisagens brasileiras; revisar classificadores baseados em pixel, frequentemente utilizados, quantificando acertos e erros por classe de cobertura da terra e o desempenho geral por classificador (BRIEM; BENEDIKTSSON; SVEINSSON, 2002; CONGALTON; GREEN, 2009; IWAI; QUINTANILHA, 2005; LIU et al., 2014; LINDENMAYER et al., 2008; METZGER, 2006; POLYCHRONAKI et al., 2014; SCHUSTER, 2014; SZILASSI et al., 2017).

A tese será organizada em 5 capítulos principais e 25 seções:

- Resumo.
- *Abstract*.
- Introdução, subdividida em: Hipótese; Objetivo Geral; Objetivos Específicos; e Grandes Campos da Geografia.
- Bases Teórico-Conceituais, subdividida em: Paisagem e Ecologia da Paisagem.

- Materiais e Métodos, subdividido em: Caracterização da Área de Estudo; Aspectos Climáticos; Caracterização Antrópica do Uso da Terra; Amostra da Área de Estudo; Imagens RapidEye; Classificadores de Imagem de Satélite; *Mahalanobis Distance* (MD); *Maximum Likelihood* (ML); *Spectral Angle Mapper* (SAM); ISODATA; *Support Vector Machine* (SVM); Técnicas de Avaliação das Classificações e dos Classificadores; Métricas de Estrutura da Paisagem; e Procedimentos.
- Resultados e Discussões subdividido em: Avaliação das Classificações e dos Classificadores; Análise Comparada da Estrutura da Paisagem da APRMSP.
- Conclusão.
- Referências.
- Apêndices.

1.1 Hipótese

Os mapas temáticos ou modelos espaciais de paisagens, gerados pela classificação de imagens RapidEye por classificadores automáticos baseados em pixels, produzem resultados que prejudicam a análise da paisagem com consequências que podem repercutir nas decisões das estratégias de conservação, planejamento ambiental e ordenamento territorial.

1.2 Objetivo Geral

Analisar a adequação de procedimentos metodológicos do Sensoriamento Remoto e da Ecologia da Paisagem em imagens de alta resolução, do satélite RapidEye, para a elaboração de mapas temáticos e modelos espaciais de paisagens.

1.3 Objetivos Específicos

- Revisar metodologias de mapeamentos da paisagem.

- Demonstrar a influência de variações na estrutura da paisagem para a geração de mapas de uso e cobertura da terra e modelos binários de habitat (floresta) e não-habitat (não-floresta).
- Indicar aplicações para as imagens RapidEye, considerando os resultados dos mapeamentos da APRMSP.
- Verificar a utilidade da técnica de votação como substitutivo para a acurácia geral.
- Revisar classificadores baseados em pixel, frequentemente utilizados, quantificando acertos e erros por classe de cobertura da terra e o desempenho geral por classificador.
- Destacar a influência da acurácia das imagens classificadas nos resultados das métricas de estrutura da paisagem.

1.4 Grandes Campos da Geografia

A Cartografia, o trabalho de campo e a análise holística são abordagens metodológicas tradicionais da Geografia, ou a maneira dos geógrafos enxergarem o mundo (MATTHEUS; HEBERT, 2004a).

O tratamento holístico (Figura 1) é a compreensão dos fenômenos e processos sobre a superfície da Terra de forma integrada, e não nos termos de suas partes (MATTHEUS; HEBERT, 2004a).

A Cartografia reúne as inovações técnicas necessárias para representar a superfície da Terra em cartas e mapas. Os avanços tecnológicos advindos do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são cada vez mais utilizados nas pesquisas sobre as variações dos padrões espaciais em diversas escalas de análise. As vantagens da visualização, análise exploratória dos dados e automatização foram associadas à capacidade cognitiva e à percepção humana para a produção das cartas e mapas da superfície, modelos bidimensionais que permitem representar e interpretar objetos, processos e fenômenos da superfície da Terra (MATTHEUS; HEBERT, 2004a; PERKINS, 2011).

O trabalho de campo é a maneira de obter e confrontar os dados primários. Estudos de caso, observações locais, descrição qualitativas e levantamento de dados quantitativos envolvem amostragens extensivas e intensivas para medições

de controle, monitorização e manipulação de dados. O trabalho de campo fornece uma base essencial de registros exploratórios, confirmação, parametrização e validação de modelos da paisagem em simulações de computador (MATTHEUS; HEBERT, 2004b).

Figura 1 – Dimensão da tradição holística da Geografia.

Fonte: MATTHEUS; HEBERT, 2004a.

As novas metodologias de análises espaciais, que se desenvolveram a partir do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica, emergiram nos anos 1950 e alcançaram a sua consolidação nos anos de 1990, com a rápida expansão da disponibilidade de imagens de satélite. A era da informação alcança sua plenitude em associação com a Cartografia, o que melhorou a elaboração de modelos baseados na realidade e o maior potencial para prever resultados. As análises são suportadas por testes estatísticos em associação com as possibilidades de aplicação por agências públicas e privadas de tomadas de decisão (MATTHEUS; HEBERT, 2004a; JENSEN, 2009).

As cartas e mapas são o resultado de um desejo, mais antigo que a própria civilização, da sociedade humana explorar, descobrir e gravar informações espaciais sobre paisagens (VICENT; WHYTE, 2004).

Mapear é distorcer a realidade em seu propósito de representar a superfície curva do planeta em um modelo bidimensional. Os processos de elaboração, exploração e garantia de acurácia das representações cartográficas sempre foram centrais para a Geografia. Mesmo que o mapa ocupe apenas uma etapa marginal do trabalho, a seleção do fenômeno ou objeto, as escalas e os símbolos devem ser capazes de garantir a compreensão e minimizar as distorções para qualquer leitor interessado (VICENT; WHYTE, 2004).

Os mapas associam referências quantitativas de precisão geométrica, distâncias e direções com a descrição da paisagem em modelo gráfico. Uma capacidade única de sintetizar grande complexidade real e demonstrar as relações entre os componentes naturais e antrópicos, o que possibilita interpretar e monitorar a paisagem por meio de mapeamentos (VICENT; WHYTE, 2004; PERKINS, 2011).

Mapas temáticos representando a distribuição de plantas e animais ou a relação entre o relevo e as bacias hidrográficas podem encerrar-se em análises específicas ou serem componentes centrais para entender uma paisagem ou elaborar estratégias de conservação. Em nenhum momento a elaboração do mapa é o objetivo final da análise, mas em todas as etapas o conhecimento cartográfico acumulado deverá ser considerado e estar sujeito a avaliações que garantam análises coerentes e com a menor distorção possível. Os métodos e técnicas para delimitar, classificar e representar a paisagem devem ser adequados às exigências da abordagem científica e não o inverso (SALINAS; RAMÓN, 2013; VICENT; WHYTE, 2004).

Relacionar o nível de detalhe mostrado com a escala é uma etapa importante do trabalho de mapeamento. As escalas grandes descrevem mais detalhes com elevada acurácia, já as pequenas conseguem visualizar áreas maiores com as feições simplificadas e generalizadas (PERKINS, 2011).

A necessidade de nomear e localizar objetos ou fenômenos criou uma tradição científica cartográfica vinculada às organizações estatais, com legitimidade e recursos para financiar despesas, planejar e explorar o território. As novas tecnologias de coleta, manipulação e impressão de dados, em sistemas de coordenadas padronizadas, aumentaram a produção e consistência das publicações

cartográficas por especialistas de instituições de ensino e de empresas privadas. Em certa medida os novos recursos técnicos criaram métodos e procedimentos que romperam com a associação exclusiva da Cartografia com o Estado (GODLEWSKA; MARTIN, 2011; PERKINS, 2011).

Na Geografia a elaboração dos mapas temáticos superou o domínio da coleta e apresentação de informações para uma variedade de atividades no âmbito da área mapeada. A finalidade é o levantamento suficiente para formar argumentos e responder questões particulares (GODLEWSKA; MARTIN, 2011; PERKINS, 2011).

A adequação do tema à base cartográfica envolve estágios científicos importantes para o modelo representado: o intervalo do fenômeno ou objeto, os símbolos (pontos, linhas e polígonos) selecionados e a legenda contendo as dimensões e símbolos com todas as informações necessárias para a interpretação completa do modelo (GODLEWSKA; MARTIN, 2011; PERKINS, 2011).

A combinação do Sensoriamento Remoto com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) potencializa as análises de mapas temáticos por proporcionar a combinação, a transmissão e o uso de grandes quantidades de dados temáticos (GODLEWSKA; MARTIN, 2011).

O mapa é um modelo poderoso de representação de ideias e comunicação de conhecimento sobre os lugares. Os geógrafos contribuíram para o desenvolvimento de suas aplicações no armazenamento, disseminação, análise e apresentação de dados espaciais da realidade em uma forma visual. A presença de mapas em artigos científicos ou de jornais, ou mesmo em teses e dissertações envia um sinal para o leitor de que o trabalho é geográfico (PERKINS, 2011).

A comunicação gráfica dos mapas será melhorada se forem considerado os seguintes procedimentos: contraste entre símbolos e entre símbolos e o fundo; símbolos legíveis; a quantidade e os tipos de dados descritos devem ser apropriados para a finalidade principal do mapa; a aparência geral deve ser clara, simples e organizada; os atributos métricos do mapa devem estar claros; a ordenação dos dados deve ter uma organização hierárquica; os níveis visuais devem ser facilmente reconhecíveis (PERKINS, 2011).

Sem o trabalho de campo a Geografia é uma ciência de relatórios de segunda mão. A sua autoridade e contribuição emanam do seu envolvimento com o mundo abordando questões locais e globais (STEVENS, 2010).

É o trabalho de campo, que permite a formulação, reformulação e a realização de teste para um conhecimento proposto, ou já adquirido. Mas, definir os limites da área de campo é uma etapa científica bastante crítica, em que deve ser excluída ou minimizada a influência de variáveis estranhas, potencialmente capazes de confundir as hipóteses relacionadas ao objetivo (RICHARDS, 2011; STODDART; ADAMS, 2004).

A área de estudo, em Geografia, é parte metodológica das pesquisas que utilizam dados e informações da superfície da Terra, os seletores naturais para análise. E na Geografia Física os estudos de caso, associados às particularidades do lugar, muitas vezes conduzem os experimentos e testes que geram modelos que simplificam e estruturam a realidade com eventos diretamente observáveis ou inferidos. A análise e explicação conduzidas devem combinar fenômenos naturais ponderados por fatores antrópicos locais (RICHARDS, 2011).

O contexto único dos estudos de casos pode revelar mecanismos de funcionamento generalizáveis (Figura 2) para outras áreas e fornecer bases para uma visão comparativa *a priori*, que melhora a análise e supera a etapa de um novo contexto particular. A maior dificuldade associada à transposição de análise entre áreas, mesmo em locais similares, é a incerteza de que a melhor explicação da realidade foi alcançada na sequência dos levantamentos de campo. A mesma cobertura vegetal em duas vertentes com características geomorfológicas, pedológicas e climáticas similares pode ter diferentes explicações biogeográficas (LATOURETTE, 2000; RICHARDS, 2011).

A complexidade das relações socioeconômicas e ambientais é explicada por meio de quantificações e descrições detalhadas, baseadas em registro de dados e controles estatísticos sujeitos a revisões constantes. Aproximações que só terão força se seguirem um projeto experimental planejado, com metodologia de controle entre a seleção e a coleta de variáveis empíricas. A padronização e repetição dos procedimentos garantem a reprodutibilidade e testes que aumentam a precisão (RICHARDS, 2011; STODDART; ADAMS, 2004; VILES, 1999).

A integração de grandes volumes de dados de campo com mapeamentos gerados por técnicas e métodos de Sensoriamento Remoto tornou mais eficaz e rápido a elaboração de modelos para análise da paisagem, em uma abordagem que mantém as normas e parâmetros cartográficos como princípio de padronização e apresentação de resultados (STODDART; ADAMS, 2004).

Figura 2 – Diagrama representando ganhos (amplificação) e perdas (redução) potenciais dos resultados de trabalhos de campo. Como regra geral, em Geografia, os resultados obtidos com mesmo esforço de levantamento campo perdem precisão com o aumento da escala de análise.

Fonte: LATOUR, 2000.

2 BASES TEÓRICO-CONCEITUAIS

O desenvolvimento da pesquisa está inserido na tradição metodológica da Geografia. Os conhecimentos utilizados têm vinculação essencial com a Cartografia, os levantamentos de campo e a integração e síntese da análise dos resultados que tratam da apreensão e representação horizontal da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; MATTHEUS; HEBERT, 2004a ROSS, 2009; SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; QUINTELA, 2001; SALINAS; RAMÓN, 2013; SARTORELLO, 2014).

As bases teórico-conceituais são fundamentadas pela concepção sistêmica aplicada à Geografia. Os trabalhos produzidos nessa concepção científica são caracterizados pelos seguintes destaques:

A abordagem holística sistêmica é necessária para compreender como as entidades ambientais físicas, por exemplo, expressando-se em organizações espaciais, se estruturam e funcionam como diferentes unidades complexas em si mesmas e na hierarquia de aninhamento. Simultânea e interativamente há necessidade de focalizar os subconjuntos e partes componentes em cada uma delas, a fim de melhor conhecer as relações entre elas. A abordagem reducionista também se enquadra como básica na pesquisa dos sistemas ambientais, sem a contraposição com a holística (CHRISTOFOLLETI, 2002, p. 1).

De início queremos salientar que é de todo conveniente intensificar os estudos sobre o funcionamento e a organização das paisagens brasileiras, considerando-se também as conjunturas regionais e locais derivadas das ações antrópicas. Indiscutivelmente, a análise das interferências de processos, ações predatórias, e agressões lesionantes — introduzidas inconscientemente pelos homens —, tem tanta importância para a aplicação das ciências quanto o esforço para o entendimento das condições ecológicas das áreas menos perturbadas pelos homens (AB'SÁBER, 2010c, p. 2).

A Geografia aplicada não pode, entretanto, negar que, no âmbito do meio físico-biológico, a funcionalidade da natureza está na perspectiva do conceito de equilíbrio dinâmico, no qual a força motora são as energias solar e terrestre [...] Nesse processo dinâmico de troca permanente de energia e matéria entre os componentes da natureza, acrescidos das inserções humanas por meio de seus modos de produção e de apropriação dos recursos naturais, existem influências na intensidade dos fluxos energéticos que modificam os ritmos dos processos interagentes (ROSS, 2009, p. 21).

As premissas apresentadas demonstram que o método sistêmico considera, em seu percurso analítico, a existência de componentes ou elementos (unidades) funcionalmente organizados e com atributos próprios (antrópicos ou naturais), que estabelecem relações através de fluxos (matéria e energia) em um equilíbrio dinâmico (AB'SÁBER, 2010c; CHRISTOFOLLETI, 1979, 2002; ROSS, 2009).

Os princípios reducionistas e holísticos são necessários para compreender os fenômenos. A complexidade poderá ser simplificada com a identificação dos elementos e correlações básicas, tendo como referência a realidade observada. Definir o número de elementos, ou o tamanho do subconjunto, e as variáveis associadas para delimitar e simplificar o fenômeno depende de um nível hierárquico mais elevado com indicadores que permitam entender um universo maior de processos e prever as mudanças associadas (CAMPOS, 2013; CHRISTOFOLLETI, 1979, 2002).

Há um consenso quanto à inadequação do método sistêmico para explicar a sociedade em suas esferas culturas e socioeconômicas. Entretanto as repercussões ambientais do desmatamento, sistema viário, da urbanização, agricultura, silvicultura e das atividades pastoris são a criação de componentes (construções, vias, campos e solo exposto) com padrão, tamanho, forma, textura, cor e reflectância espectral que geram e recebem fluxos em uma paisagem (CHRISTOFOLLETI, 2002; FORMAN; GODRON, 1986; JENSEN, 2009; NOVO, 2008; ROSS, 2009; SALINAS, 2004, 2005; SARTORELLO, 2014).

Inicialmente é importante compreender as características e funcionalidades intrínsecas dos componentes naturais e antrópicos para posteriormente delimitar e classificar a paisagem com a identificação de classes ou unidades de feições relativamente homogêneas, na escala do mapeamento (GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; ROSS, 2009; SALINAS; RAMÓN, 2013).

As técnicas e metodologias da Cartografia, do Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem elaborar modelos espaciais, como os mapas de uso e cobertura da terra, que sintetizam as informações de um momento da dinâmica da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; LANG; BLASCHKE, 2009; ROSS, 2009; SALINAS; RAMÓN, 2013; SARTORELLO, 2014). Fornecendo uma base cartográfica que pode ser quantificada e analisada por métodos da Ecologia da Paisagem em modelos obtidos pelas unidades de vegetação (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; LANG;

BLASCHKE, 2009; SARTORELLO, 2014; SZILASSI et al., 2017; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; URBAN, 2005).

As estruturas ou feições da cobertura vegetal têm um padrão organizado segundo as características de tipo, tamanho, número e forma que representam a paisagem como elementos individuais, observáveis e quantificáveis, de matriz, manchas e corredores. As medidas de estrutura da paisagem, ou métricas de paisagem, tornam possível correlacionar padrões e processos históricos, avaliar as condições atuais e antecipar mudanças futuras (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; SZILASSI et al., 2017; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

O nosso trabalho almeja contextualizar e fornecer subsídio para o planejamento e a gestão ambiental como uma etapa necessária do ordenamento territorial.

Sob uma perspectiva de planejamento econômico e ambiental do território, quer seja municipal, estadual, federal, bacia hidrográfica [...] é absolutamente necessário que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos claros de ordenamento territorial, tomando-se como premissas a potencialidade dos recursos naturais e humanos, e as fragilidades dos ambientes naturais (ROSS, 2009, p. 53).

[...] o ordenamento do território é um processo público e técnico de planejamento, e, portanto, deve ser flexível, contínuo e de longo prazo; [...] já que, não é apenas ambiental, mas, social, econômico, político e administrativo devendo conduzir a um zoneamento das capacidades potenciais do território (oferta ou objeto de planejamento) para acomodar uma atividade socioeconômica particular (demanda ou objeto de um planejamento) e para resolver problemas e conflitos no interior do território (SALINAS, 2004, não paginado, 2005, p.4, tradução nossa).

A paisagem como base do ordenamento do território pode ser considerada como sujeito e objeto da atividade humana. Objeto na medida em que a paisagem tem um número de recursos que suportam o desenvolvimento socioeconômico básico do território e sujeito quando a atividade humana a transforma. Esta dupla função da paisagem, é então a base para a compreensão da dinâmica natural e social a partir da perspectiva do planejamento regional (SALINAS, 2004, não paginado, 2005, p. 5, tradução nossa).

A cartografia da paisagem é fundamental nas fases de caracterização, diagnóstico e proposta. Os produtos temáticos de síntese, como textos e mapas, são

capazes de apoiar o planejamento e as políticas públicas necessárias para lidar com as consequências intrínsecas e derivadas das interações dos sistemas naturais e antrópicos (ROSS, 2009; SALINAS; RAMÓN, 2013).

A classificação da paisagem é crítica porque afeta onde e o que conservar. Os erros dos mapeamentos temáticos influenciam os resultados gerados pelas métricas. O nosso trabalho se enquadra na lacuna dos estudos de dados primários para a análise da paisagem (HOECHSTETTER et al., 2008; LINDENMAYER et al., 2002; LINDENMAYER, et al., 2008; METZGER, 2006; RAMEZANI et al., 2013; SALINAS; RAMÓN, 2013). Nós buscamos demonstrar quantitativamente e descritivamente que a classificação da paisagem, utilizando algoritmos automáticos, influencia na sensibilidade das métricas — tamanho ou área da mancha, número de manchas, proporção ou porcentagem de habitat, índice de forma e o índice integral de conectividade — com consequências para análise dos resultados que poderiam embasar decisões de planejamento e gestão ambiental (LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; LINDENMAYER et al., 2008; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; RAMEZANI et al., 2013; SAURA; TORNÉ, 2017; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Como o nosso interesse é uma classificação orientada ao planejamento, nós elaboramos os mapas em escala 1:10.000 e área mínima mapeável de 625 m² (0,0625 ha) (ANDERSON et al., 1983; IBGE, 1998; FOODY, 2008). Para adotar estas medidas cartográficas consideramos as especificações técnicas que, nos metadados das imagens RapidEye, indicaram a ortorretificação dos pixels para 5 m. Além do fator técnico, que é limitante, as referências consultadas recomendaram a escala de 1:10.000 por ser adequada e confiável em levantamentos locais de detalhe e seguras em generalizações para escalas médias e pequenas entre 1:25.000 e 1:250.000. Nós apresentamos os mapas com os resultados impressos em escala aproximada de 1:90.000 (EMBRAPA, 2016; ESRI, 2018; IBGE, 1998; SALINAS; RAMÓN, 2013; SCCON, 2017; TOBLER, 1987).

2.1 Paisagem e Ecologia da Paisagem

A paisagem engloba as qualidades da área (o lugar de estudo) selecionada: as interações entre a sociedade e o ambiente, expressas na cobertura da terra. As propriedades da paisagem poderão ser transformadas por ações naturais ou pelo uso e ocupação antrópica, processos que geram particularidades inerentes às escalas hierárquicas e à área analisada. Em termos metodológicos, o recorte da paisagem desempenhará a função de sujeito e objeto de estudo, introduzindo dimensões particulares que não poderão ser reproduzidas universalmente, mas, com interfaces que promovem a análise integrada das temáticas físicas e humanas da Geografia, com o objetivo de formação de sínteses e de modelos espaciais preditivos (FORMAN; GODRON, 1986; COONES, 1999b; MATTHEUS; HEBERT, 2004b; RAMEZANI et al., 2013; SALINAS, 2004, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

A formulação teórica adotada na tese é orientada pela concepção alemã de paisagem, amplamente divulgada na Europa e nos Estados Unidos, que a considera como uma unidade sistêmica complexa, funcional e interdependente com resultado material produzido por processos naturais, em geral mais longos e antigos, interpenetrados por processos antrópicos com significados socioeconômicos e culturais, em geral mais curtos e recentes (CAMPOS, 2013; COONES, 1999a; HUGGET; PERKINS, 2004; MATTHEUS; HEBERT, 2004b; SARTORELLO, 2014; TROLL, 2007).

A formação e o desenvolvimento dos estudos da paisagem ocorreram na Geografia. A fonte das técnicas e dos métodos para registrar e analisar os dados é uma herança dos temas das disciplinas de Geologia, Geomorfologia, Solos, Clima, Vegetação, Cartografia, Aerofotografia, Demografia, Geografia Econômica e Geografia Cultural. Pois na base da análise da paisagem está a interpretação da sua origem, organização e evolução que reconstituem o ambiente passado e formulam cenários futuros. Descrever, quantificar e representar a frequência dos eventos, as taxas dos processos, os mecanismos desencadeadores e os padrões conduzem a formulação de sínteses analíticas (FORMAN; GODRON, 1986; COONES, 1999b; MATTHEUS; HEBERT, 2004b; TROLL, 2007).

A paisagem, conceito fundamental para compreender a Ecologia da Paisagem, é uma entidade sistêmica, explicitamente espacial e com dimensão

territorial. É o resultado de interações dinâmicas dos componentes de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos), em uma área terrestre heterogênea, composta por unidades homogêneas que se repetem, em toda a extensão, de forma similar para uma dada escala espacial. Por associarem mecanismos de causa e consequência, com foco nas relações horizontais, fornecem uma base de conhecimento para a compreensão, o planejamento e a gestão ambiental que pode contribuir com as decisões do ordenamento do território (CAMPOS, 2013; DELPOUX, 1974; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; HAIGH, 1985; LANG; BLASCHKE, 2009; MATTHEUS; HEBERT, 2004b; METZGER, 2001; MONTEIRO, 2000; RAMEZANI et al., 2013; SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; QUINTELA, 2001; TROLL, 2007; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

A Ecologia da Paisagem ou Geoecologia é uma abordagem aplicada da teoria da paisagem, que surgiu e alcançou a sua maturidade científica a partir da centralidade da representação espacial, em diferentes escalas, integrando aspectos visuais do ambiente a partir de uma perspectiva sinótica vertical aérea. A interação dos processos naturais e antrópicos é enfatizada por meio da organização da estrutura da paisagem, resultante de processos sistêmicos. A dinâmica dos fluxos de energia, verticais ou ecológicos e horizontais ou geográficos, compõem as diferentes camadas da paisagem em um contexto de forma e processos (ARNTZ, 1999; FORMAN; GODRON, 1986; HUGGET; PERKINS, 2004; MATTHEUS; HEBERT, 2004b; MARTINELLI, 2001; RIBEIRO et al., 2009; SALINAS, 2004; 2005; SALINAS; QUINTELA, 2001; SARTORELLO, 2014).

O notável desenvolvimento da Ecologia da Paisagem, a partir dos anos de 1980, deu-se em associação com a introdução das técnicas e metodologias de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os temas sobre conservação, planejamento e gestão de áreas socioeconômicas relevantes ou de valor histórico, cultural e ambiental nortearam as pesquisas e os trabalhos técnicos produzidos (CAMPOS, 2013; COONES, 1999b; LANG; BLASCHKE, 2009; MATTHEUS; HEBERT, 2004b; METZGER, 2001; SALINAS; RAMÓN, 2013).

As cartas topográficas, fotografias aéreas, imagens de satélite e os trabalhos de campo são materiais e técnica que fornecem a fonte primária de dados para a Ecologia da Paisagem. A delimitação do recorte da área de estudo corresponde à

dimensão da paisagem, as escalas de tempo e espaço, com os componentes que serão investigados. Os trabalhos desenvolvidos a partir da tradição geográfica devem identificar padrões e estruturas em uma escala apropriada para a interpretação de fenômenos do relevo, da vegetação, do solo e cobertura da terra. Há uma predileção geral por escalas regionais e dinâmicas ecológicas de grandes áreas, como em formações florestais ou extensas bacias hidrográficas (FORMAN; GODRON, 1986; HUGGET; PERKINS, 2004; ROSS, 2009; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Os padrões, que descrevem a composição e a estrutura, são os arranjos das unidades de paisagem. E cada unidade de paisagem é a feição visual homogênea (ou uniforme) distinguível em uma imagem ou fotografia aérea, limitada por uma escala de interesse. As unidades são uma consequência das suas propriedades sistêmicas que podem ser predominantemente direcionadas por fatores naturais ou antrópicos. Os menores componentes (geofatores ou tesseras) que formam a unidade de paisagem e podem ser individualizados e calculados em trabalhos de campo são as árvores, os tipos de solos, as rochas, os rios, as ruas, as casas dentre outros fatores ambientais. A estrutura da paisagem é formada pelo conjunto de elementos (unidades espaciais) inter-relacionados de forma sistêmica integrada — rede de drenagem, sistemas agrícolas, construções urbanas e tipos de vegetação (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; HUGGET; PERKINS, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; SARTORELLO, 2014; TROLL, 2007; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; ZONNEVELD, 1989).

Os padrões ou configuração das unidades espaciais, representadas nos mapas, podem ser classificados em mancha, corredor e matriz. Este modelo é muito eficiente para explicar a paisagem, separando estruturas com características diferentes. As manchas são as menores áreas homogêneas, que se difere de seus arredores, como ocorre nos fragmentos de vegetação, lagos, afloramentos rochosos e nas construções humanas. Os corredores são feições alongadas e estreitas, que diferem das áreas vizinhas em ambos os lados, conectando as manchas com as quais partilham propriedades comuns, alguns exemplos são rodovias ligando as cidades, fragmentos florestais conectando manchas de florestas e rios conectando bacias hidrográficas. A matriz é o “pano de fundo”, a cobertura de terra dominante pela sua extensão e funcionalidade, onde as manchas e os corredores estão estabelecidos. As florestas, pastagens, campos agrícolas e construções são

exemplos de potenciais matrizes na paisagem (CAMPOS, 2013; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; HUGGET; PERKINS, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

A estrutura, composição e a dinâmica da paisagem podem ser caracterizadas pelas métricas ou índices de paisagem. Os cálculos são aplicados em mapas temáticos, derivados do uso e cobertura da terra, representando as características da paisagem nas categorias de mancha, corredor e matriz. O resultado quantifica e classifica a paisagem e indica a tendência de concentração e dispersão de fluxos entre áreas. A água, sedimentos, animais, esporos reprodutivos, fluxo de veículos e poluentes são componentes da paisagem, com direção e taxa de movimento, que podem ser analisados nesse modelo (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; HUGGET; PERKINS, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER et al., 2009; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Cabe destacar, entretanto, que o modelo mancha-corredor-matriz foi amplamente divulgado dentro da Biologia da conservação. Tendo como foco principal a conservação biofísica e o planejamento da paisagem, direcionados pela vegetação que é considerada o principal indicador de habitat adequado e processos ecológicos para espécies nativas. A sua aplicação mais difundida é o modelo de ilhas baseado na Teoria do Equilíbrio da Biogeografia Insular (TEBI). Que traduz a paisagem em um padrão bimodal ou binário de habitat, associado à vegetação, e não-habitat, associado à todas as outras feições da paisagem (CAMPOS, 2013; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; HUGGET; PERKINS, 2004; MACARTHUR; WILSON, 1967; SARTORELLO, 2014; TROLL, 2007).

O modelo de ilhas torna mais fácil e prático o trabalho de mapeamento, uma simplicidade atrativa por ser diretamente aplicado em mapas temáticos de fragmentos remanescentes de vegetação, representadas por manchas isoladas entre áreas de não-habitat (fundo branco) ou conectadas por corredores. A eficiência desse modelo é maior em paisagens heterogêneas, mas não totalmente esparsas, devendo haver gradientes ambientais bem definidos. O desenvolvimento do modelo binário influenciou nas estratégias de conservação facilitando a seleção de áreas prioritárias, o desenho de corredores e na noção de limiar da estrutura da paisagem associado à porcentagem de vegetação (habitat) (GUSTAFSON, 1998; HUGGET; PERKINS, 2004; LINDENMAYER; FISCHER, 2007a; SARTORELLO, 2014).

As bordas, nas manchas e corredores, agem como filtros onde as taxas de movimento mudam sensivelmente. A permeabilidade varia com as diferentes características dos limites entre os remanescentes de vegetação e a matriz ao redor. O efeito de borda é uma consequência típica de alterações antrópicas que fragmentam habitats contínuos e criam transições com variações abruptas nos fenômenos geomorfológicos e microclimáticos de erosão, deposição, intensidade de precipitação, penetração de luz, amplitude térmica, umidade relativa do ar, direção e frequência dos ventos; e biológicos de aumento da mortalidade e queda na taxa de reprodução da população em geral, seguida pela prevalência de espécies invasoras, exóticas ou generalistas (CAMPOS, 2013; FAHRIG, 2003; LINDENMAYER; FISCHER, 2007b; LAURENCE, 1997; METZGER; DÉCAMPS, 1997; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

A aplicação das métricas em mapas com modelo de ilhas tem ênfase na extensão, característica espacial e distribuição de uma mancha focal. Os resultados descrevem a fragmentação, conectividade/isolamento, área e forma das manchas que compõem o mosaico da paisagem (GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 2006; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007).

A fragmentação é um processo de divisão de um habitat contínuo em duas porções que podem ser menores e estarem isoladas, comparadas à área original, quando ocorre a perda de habitat. Tendo por referência uma matriz com proporção igual ou superior a 60% de cobertura vegetal, que submetida a perturbações naturais (enchentes, avalanches e deslizamentos) ou antrópicas (remoção da vegetação, produção agrícola e abertura de vias) cria manchas de habitat. O limiar (Figura 3) de conversão definitiva de uma matriz de vegetação em uma cobertura de não-habitat, dependendo das características dos organismos, é entre 20 e 40% (ANDRÉN, 1994; FAHRIG, 2003; FORMAN; GODRON, 1986; LANG; BLASCHKE, 2009; METZGER, 1999, 2006; METZGER; DÉCAMPS, 1997; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; TURNER, 2005; WILCOVE; MCLELLAN; DOBSON, 1986).

Figura 3 – Relação teórica descrevendo os efeitos da fragmentação da paisagem sobre a conectividade estrutural e a extinção global de espécies. Há um ponto crítico (P_c) indicando um máximo de fragmentação, acompanhado por uma ruptura e queda acentuada das curvas de conectividade e extinção. As tendências são dirigidas pela variável fragmentação, entre os valores 1 e zero. Nas regiões próximas a 1 as paisagens estão conectadas, com disponibilidade de habitat e ocorrência mínima de extinção. Já próximo a zero prevalece o isolamento, a baixa disponibilidade de habitat e valores máximos de extinção.

Fonte: METZGER; DÉCAMPS, 1997; ANDRÉN, 1994.

Em uma paisagem o isolamento ocorre quando a distância, entre todos os fragmentos de um mesmo tipo de habitat, excede capacidade de fluxo biológico dos táxons selecionados. O padrão da paisagem, os atributos dos fragmentos (o tamanho, a forma e a característica da borda) e a resistência da matriz (não-habitat) dificultam ou impedem os deslocamentos e a dispersão dos organismos, com queda potencial da taxa de migração e colonização que ampliam os efeitos ecológicos da redução da área. A conectividade é a característica inversa ao isolamento e prevalece quando a paisagem facilita a percolação dos fluxos entre os elementos (CAMPOS, 2013; FAHRIG, 2003; METZGER, 1999; METZGER, 2006; METZGER et al., 2009; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Os atributos de um fragmento como área total, forma e localização são parâmetros potenciais de condições ecológicas para conservação. Áreas grandes são melhores que as pequenas, tendo em vista que podem manter um número maior de espécies em equilíbrio. Áreas contínuas, conectadas e mais próximas fornecem melhor proporção de habitats homogêneos e favorece o fluxo de espécies. Formas regulares (arredondadas) e menos retalhadas, com maior importância da área em relação ao perímetro, melhoram as taxas de dispersão e diminuem o efeito de borda (Figura 4) (DIAMOND, 1975; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; MACARTHUR; WILSON, 1967; METZGER, 1999; METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Figura 4 – Princípios geométricos para o desenho de áreas protegidas. Em cada um dos casos apresentados, de **a** até **f**, as condições ecológicas mais desejáveis para a conservação estão nas colunas da esquerda, rotuladas como “**Melhor**”.

Fonte: MACARTHUR; WILSON, 1967; DIAMOND, 1975; METZGER, 1999.

Os mapas categóricos, de habitat e não-habitat, oferecem uma base adequada para quantificar com precisão a estrutura da paisagem e estabelecer relações entre padrões espaciais e processos ecológicos (GUSTAFSON, 1998; LINDENMAYER et al., 2008; LINDENMAYER; FISCHER, 2007a; METZGER, 2001, 2006). Uma lacuna importante, apresentada na literatura, e que está relacionada com os procedimentos para selecionar os habitats (cobertura vegetal) e não-habitats (geralmente a matriz de uso antrópico) é o critério de acurácia mínima de 85% para

os mapas de uso e cobertura da terra (ANDERSON et al., 1983; CONGALTON; GREEN, 2009; METZGER, 2006; FOODY, 2008).

Entretanto esse índice é frequentemente muito rigoroso e até mesmo enganoso. Visto que o valor de 85% foi definido a partir da elaboração de mapas em escala de 1:250.000 para apresentar um sistema de classificação em nível nacional, não sendo uma proposta de acurácia padrão para mapeamentos (ANDERSON et al., 1983; FOODY, 2008). A adoção desse índice ocorreu pelo seu histórico científico de uso sem questionar a sua adequabilidade em outras escalas de mapeamentos ou em estudos que utilizam mapas com propósitos específicos (FOODY, 2008).

Nós concordamos com os argumentos de que a acurácia de 85%, tipicamente adotada no sensoriamento remoto, pode ser excessivamente rigorosa e até inapropriada para escala de 1:10.000, de maior detalhe. Poderemos contribuir neste tema porque a pesquisa aborda a acurácia de vários algoritmos de classificação automática sob influência da configuração da paisagem, que tende a ter um grau de tolerância maior para erros de classificação e ainda fornecer o conteúdo técnico-científico de boa qualidade para posterior aplicação no planejamento e na gestão ambiental com fins de ordenamento territorial (FOODY, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nas seções seguintes nós apresentaremos as referências conceituais e os parâmetros para a realização da pesquisa. Começamos com a revisão bibliográfica da área de estudo, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com a finalidade de analisar os componentes naturais e antrópicos que explicam os padrões da paisagem. A partir dessa caracterização selecionamos uma amostra representativa da paisagem (APRMSP) e definimos a legenda do mapa da classificação visual, que serviu como referência para as amostras de treinamento das classificações supervisionadas e dos agrupamentos da classificação não-supervisionada.

Em seguida abordamos as imagens RapidEye, destacando as suas especificações técnicas, estudos desenvolvidos e as possíveis contribuições em trabalhos futuros. No tópico sobre os classificadores de imagem de satélite fizemos uma revisão sobre o Sensoriamento Remoto com foco na classificação de imagens. Justificamos a escolha dos classificadores considerando a frequência de utilização, a comparação dos valores de acurácia individual e a diferença entre as lógicas de decisão para classificar as imagens. Também definimos os parâmetros para a execução dos classificadores, quando eles eram uma condição obrigatória. Na ausência da obrigatoriedade mantivemos os parâmetros pré-estabelecido pelo aplicativo ENVI®.

Na sequência nós destacamos as técnicas da matriz de confusão, da estatística Kappa e da votação ou eleição com os critérios para definir as amostras de referência para controle e avaliação das classificações e dos classificadores. No texto que aborda as métricas de estrutura da paisagem começamos pela revisão conceitual e sobre a importância e os limites das métricas como substitutos abióticos de dados biológicos. A seleção das medidas foi baseada em trabalhos teóricos e aplicados, com relevância para pesquisas vinculadas às paisagens brasileiras. Descrevemos as fórmulas matemática em contexto com o seu significado espacial e ecológico. Também indicamos as configurações dos dados de entrada dos principais aplicativos utilizados: Fragstat® e Conefor®. E encerramos o texto com a explicação da análise comparada dos resultados nos mapas selecionados.

Finalizamos os materiais e métodos com a descrição sumária dos procedimentos e apresentação do diagrama de desenvolvimento do trabalho.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é a maior conurbação do Brasil, reunindo 39 municípios. As coordenadas (UTM) aproximadas dos seus limites territoriais no sul ($x = 7.347.625$; $y = 275.313$) e oeste ($x = 7.347.625$; $y = 275.313$) estão no Município de Jujutiba (20). Ao norte o ponto extremo fica em Santa Isabel (30), $x = 7.435.255$ e $y = 368.976$, e a leste em Salesópolis (29), $x = 7.386.202$ e $y = 429.460$ (Figura 5) (EMPLASA, 2017; IBGE, 2017a).

Figura 5 – Localização regional da área de estudo.

Fonte: AUTOR, 2017; EMLASA, 2017; GALVÃO, 2011.

Os municípios da RMSP concentram a população e a riqueza do Brasil, em uma área de 7.946,96 km². A população desse território é de 21.242.939 habitantes, que corresponde a 50% do total do Estado de São Paulo e 10,2% do total brasileiro. A região abriga 53,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do Estado de São Paulo e 17,2% do Brasil. Os setores econômicos que mais contribuem com o PIB regional são as atividades industriais, financeiras, de serviços e comércios instaladas principalmente nos municípios de São Paulo, Guarulhos, Barueri, São Bernardo do Campo, Santo André e Osasco (EMPLASA, 2017; IBGE, 2017a, 2017b; SEADE, 2017; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

O notável crescimento urbano da RMSP pode ser observado em uma série histórica, na Figura 6, entre 1881 e 2008. O avanço da urbanização foi determinado por componentes naturais e antrópicos. Até 1980 a área urbanizada estava praticamente contida nos terrenos da Bacia Sedimentar de São Paulo, que fornecem as condições topográficas mais adequadas para a instalação de infraestrutura. A importância desse geofator da paisagem foi comprovada pela análise da expansão urbana sobre o embasamento cristalino, onde, a superfície de erosão nas cotas dos 800 m (variações de 800 a 850) delimitam as terras baixas densamente urbanizadas e as terras altas, acima de 800 m, onde predomina a cobertura vegetal que forma o cinturão verde que envolve a metrópole (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; BUENO, 2013; SILVA, 2013; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009).

O modo de produção industrial forneceu as bases econômicas para a incorporação das periferias às cidades. Nas áreas mais distantes do centro o preço dos terrenos é mais baixo e a legislação não é aplicada pelo poder público, facilitando o acesso à terra pelas classes de menor renda. A lógica econômica para ocupação dos limites das cidades, apesar de predominante (principalmente até a década de 1980) não é homogênea, podendo ser verificado empreendimentos de luxo na periferia e cortiços nas áreas centrais (BUENO, 2013; FURLAN, 2004; GALVÃO, 2011; MAUTNER, 2004; RAIMUNDO, 2006; SÃO PAULO, 2017b, 2017c; SILVA, 2013).

Figura 6 – Expansão da mancha urbana em um período de 120 anos. Até 1930 a direção leste-oeste era quase exclusiva, passando a predominante em 1952, quando ocorreu uma maior generalização. Em 1972 se consolida como uma massa compacta, que irá crescer aproximadamente 20% entre 1980 e 2008.

Fonte: BUENO, 2013; GALVÃO, 2011; MAUTNER, 2004; SÃO PAULO, 2017a; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009.

O sistema viário viabilizou a implantação do transporte urbano, ampliando as áreas ocupadas e conectando os municípios metropolitanos aos centros econômicos mais desenvolvidos, notadamente localizados em São Paulo, o Município sede da metrópole. As rodovias dos Bandeirantes e Presidente Tancredo de Almeida Neves

liga os municípios de Caieiras, Franco da Rocha e Francisco Morato a São Paulo. A rodovia Anhanguera conecta Cajamar a São Paulo e a Fernão Dias, Mairiporã a São Paulo. As rodovias Presidente Castelo Branco e Raposo Tavares interligam os municípios de Itapevi, Jandira, Cotia e Osasco a São Paulo. A Regis Bittencourt faz a ligação de Juquitiba, Embu das Artes e Itapeverica da Serra a São Paulo. As avenidas Marginal Tietê e Pinheiros captam o fluxo regional, distribuindo-o entre as rodovias e/ou vias de acesso local (Figura 7) (BUENO, 2013; DATAGEO, 2016; FURLAN, 2004; GOOGLE Earth, 2016; SILVA, 2013).

Figura 7 – Principais rodovias que atravessam a RMSP, com epicentro no Município de São Paulo. A configuração e a alta capacidade de fluxo de pessoas e produtos ampliaram a urbanização nas bordas da metrópole.

A ocupação esparsa promovida pela industrialização, pelo sistema viário e o próprio esgotamento do tecido urbano central da RMSP conduziu a sucessivas saturações das vias e rodovias. O aumento contínuo do fluxo de automóveis criou uma necessidade permanente de execução de grandes projetos viários, destacando-se a construção da rodovia dos Imigrantes (1974), planejada para complementar o atendimento da rodovia Anchieta (1940–1950), a dos Bandeirantes (1978) para complementar a rodovia Anhanguera (1940–1950) e a Ayrton Senna (1982) para complementar a Presidente Dutra (1940–1950). E atualmente o Rodoanel Mário Covas, ainda com trecho norte em construção (2017), interligará os principais eixos rodoviários, substituindo parcialmente a função regional das avenidas marginais Tietê e Pinheiros (Figura 7) (BUENO, 2013; SILVA, 2013).

Além dos componentes socioeconômicos e naturais destacados, outro fator que explica a configuração da paisagem na RMSP é a gestão pública. Por meio do Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado I (PMDI-I), da década de 1970, e do Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado II (PMDI-II), de 1981/1982, o eixo leste-oeste foi definido como prioritário para a expansão da mancha urbana (Figura 6). As propostas consideraram os atributos topográficos da paisagem, potencialmente favoráveis no setor da Bacia Sedimentar de São Paulo, e a centralização da infraestrutura, centros de serviços e trabalho instalados (BUENO, 2013; SÃO PAULO, 2017b, 2017c).

Em contraposição ao crescimento induzido foram estabelecidas diretrizes para conter o avanço da urbanização nas bacias dos mananciais e áreas de produção hortifrutigranjeira do cinturão verde, visando garantir o abastecimento de água e alimentos. A componente que unifica essa paisagem são as formas de relevo — serras, interflúvios e morros altos — que se desenvolveram sobre o embasamento cristalino, onde as porções de terras altas, com cotas acima dos 800 m, são mais extensas (BUENO, 2013; GALVÃO, 2011; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009; SÃO PAULO, 2017b, 2017c; SILVA, 2013).

Na prática foram criadas Unidades de Conservação (UCs) (Figura 8), para proteger o cinturão verde e os mananciais, restringindo o uso antrópico da terra nos remanescentes de Mata Atlântica. A abrangência das regulamentações legais definem as categorias das UCs, que podem ser de Proteção Integral (PI), destinadas exclusivamente à preservação da natureza, “sendo admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais”, e as de Uso Sustentável (US), que visam compatibilizar a

“conservação da natureza com o uso sustentável dos seus recursos naturais” (BRASIL, 2016, não paginado; SILVA, 2013, p. 108).

Figura 8 – Considerou-se a precisão gráfica da escala (8,41 ha) e o cadastramento nacional das UCs para o mapeamento. As siglas mencionadas referem-se à Área de Proteção Ambiental (APA), Estação Ecológica (EE), Parque Estadual (PE), Parque Natural Municipal (PNM) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Fonte: ANA, 2017; AUTOR, 2017; BRASIL, 2017; IBGE, 1998; SILVA, 2013.

A RMSP tem 23 UCs que incidem total ou parcialmente em seu território, contabilizando apenas as estaduais e federais (não incluindo as UCs municipais e as Reservas Particulares de Patrimônio Natural – RPPNs). Destacam-se nesse conjunto os parques estaduais da Serra do Mar e da Cantareira. O Parque Estadual da Serra do Mar (PESM), de 1977, “é a maior área de proteção integral do litoral brasileiro”, com 315.390 ha, contribuindo para conservação da diversidade biológica em nível nacional; e o Parque Estadual da Cantareira, de 1963 com 7.916,52 ha, está estrategicamente localizado no maior sistema produtor e armazenador de água da RMSP, na Serra da Cantareira (SABESP, 2017a; SILVA, 2013; SÃO PAULO, 2008a, p. 13; SÃO PAULO, 2009).

As UCs do Parque Ecológico Nascentes do Tietê, de 1988, no Município de Salesópolis e a Reserva Florestal do Morro Grande, criada em 1979 no Município de Cotia, também exercem importante função de proteção aos mananciais nos extremos leste e sudoeste da RMSP (BUENO, 2013; DAEE, 2017a; GALVÃO, 2011; SABESP, 2017b; SILVA, 2013; SÃO PAULO, 2008a, 2009; SILVA, 2013; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009).

Um conjunto de UCs de Uso Sustentável (US) foi criado entre as áreas urbanizadas e as UCs de Proteção Integral (PI), visando conter o avanço da ocupação esparsa e fragmentada, dos loteamentos precários para populações de baixa renda e de condomínios horizontais das classes média e alta. As APAs Capivari-Monos (municipal), Parque e Fazenda do Carmo (municipal), Sistema Cantareira (estadual) e as APMs, Áreas de Proteção aos Mananciais (estadual), têm como objetivo conservar os serviços ecossistêmicos dessa paisagem, composta por importantes fragmentos florestais de Mata Atlântica (GALVÃO, 2011; RAIMUNDO, 2006; SILVA, 2013; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009; UNEP, 2009).

Análises comparadas demonstram que o crescimento das áreas ocupadas (urbano consolidado e ocupação esparsa) é maior onde não há qualquer tipo de sistema de proteção, contudo, o seu alcance legal não é homogêneo. Nas Unidades de Conservação de Uso Sustentável (US) e nas Áreas de Proteção aos Mananciais (APMs) o crescimento tem sido significativamente maior que nas áreas de Proteção Integral (PI), onde as UCs são capazes de conter a expansão (Figura 9) (SILVA, 2013; RAIMUNDO, 2006; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009).

Figura 9 – Números absolutos da ocupação em áreas protegidas, na RMSP, entre 1989 e 2010.

Fonte: SILVA, 2013.

Os condicionantes físicos e antrópicos explicam a estrutura da paisagem da RMSP. O predomínio do urbano consolidado, nas áreas centrais, e da ocupação esparsa nas porções periféricas dos municípios. Nos setores, em que a estrutura urbana é implantada, ocorre a supressão da cobertura vegetal e modificações na geomorfologia do embasamento e dos depósitos sedimentares, causando impactos nos processos ecológicos, que levam à extinção e simplificação de espécies vegetais e animais; no balanço de energia, alterando a circulação atmosférica local; e na dinâmica das vertentes, ampliando a erosão e o escoamento superficial (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; BUENO, 2013; FURLAN, 2004; GALVÃO, 2011; PEREIRA FILHO et al., 2004; RODRIGUES; VICTOR; PIRES, 2006; SILVA, 2004, 2013).

Na RMSP o uso antrópico principal é a urbanização (consolidada e esparsa), o fator que modifica o suporte e a cobertura da paisagem compondo a matriz que se opõem às manchas de vegetação. As mudanças nos componentes e sistemas naturais promovem perdas e transformações na biodiversidade (diversidade genética de espécies); desequilíbrio nas variáveis climáticas (circulação atmosférica, temperatura, umidade e precipitação) originando o fenômeno da ilha de calor urbano; diminuição da permeabilidade e porosidade do solo, com aumento dos fluxos superficiais e redução da quantidade e qualidade da água; ameaça à segurança alimentar, dada a perda de áreas agrícolas, com avanço das ocupações esparsas predominantemente no eixo sul–norte da metrópole; e a desvalorização estética e cultural da paisagem, que perde as funções de lazer, turismo e recreação

em áreas conservadas (BUENO, 2013; CAMPOS, 2013; DELPOUX, 1974; FORMAN; GODRON, 1986; FURLAN, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; PEREIRA FILHO et al., 2004; RAIMUNDO, 2006; RODRIGUES; VICTOR; PIRES, 2006; SILVA, 2013; VEMADO, 2012).

A proposta da tese poderá contribuir com as estratégias para conservação e o uso antrópico, considerando o potencial da paisagem. O Sensoriamento Remoto e a Ecologia da Paisagem geram análises relevantes da estrutura da paisagem, permitindo aos agentes públicos antecipar as consequências de impactos, interligados pelo processo de supressão da cobertura vegetal, instalação de infraestrutura urbana, vulnerabilidade socioambiental e a permanente ausência de fiscalização para o cumprimento dos marcos regulatórios legais (FURLAN, 2004).

3.1.1 Contexto Geológico e Geomorfológico

A evolução da paisagem, no município de São Paulo, tem como importantes elementos de controle os depósitos sedimentares — terciários e quaternários — e as formações pré-cambrianas — colinas, morros e morrotes (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; TAKIYA, 1997).

O preenchimento da Bacia Sedimentar de São Paulo ocorreu em uma das depressões do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). Um sistema de depressões tectônicas e vulcânicas com 900 km de comprimento, estendendo-se como uma faixa estreita entre os estados do Paraná e Rio de Janeiro (Figura 10). A evolução do RCSB transcorreu do Cretáceo ao Quaternário, inicialmente controlada pela ação de esforços distensivos de direção NNW–SSE, que reativaram antigas zonas, como falhas normais, de cisalhamento proterozoicas com direção NE–ENE (ALMEIDA, 1976; RICCOMINI, 1989; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; TAKIYA, 1997).

Reativações precedentes promoveram uma sequência de eventos deformadores: o primeiro, no período Terciário, uma falha transcorrente sinistral (de empurrão) de direção E–W, com distensão NW–SE e compressão NE–SW que moveram blocos de rochas do embasamento sobre depósitos sedimentares, que delimitaram algumas pequenas bacias. O segundo evento, de falhas transcorrentes dextrais quaternárias, modelou as massas rochosas que separaram sedimentos

Terciários. O terceiro evento distensivo, de direção WNW–ESE, e idade holocena, definiu o contorno atual dos depósitos sedimentares das bacias do RCSB (Figura 10) (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI; SANT’ANNA; FERRARI, 2005).

Figura 10 – RCSB: “1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) bacias cenozóicas do *rift* (1 – Bacia de Itaboraí, 2 – Gráben de Barra de São João, 3 – Bacia do Macacu, 4 – Bacia de Volta Redonda, 5 – Bacia de Resende, 6 – Bacia de Taubaté, 7 – Bacia de São Paulo, 8 – Gráben de Sete Barras, 9 – Formação Pariquêra-Açu, 10 – Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11 – Bacia de Curitiba, 12 – Gráben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas”.

Fonte: RICCOMINI; SANT’ANNA; FERRARI, 2005, p. 386.

Os eventos deformadores tectônicos e vulcânicos originaram as províncias estruturais da Bacia de Santos, na margem continental, e das altas montanhas (Serra do Mar e Serra da Mantiqueira) do Cinturão Orogênico do Atlântico. Outros acontecimentos geológicos associados aos eventos descritos são: a abertura do oceano Atlântico, como consequência da ruptura da crosta e subsidência da Bacia de Santos, e o soerguimento da região costeira adjacente (por compensação isostática) com direção E–NE, definindo a linha de costa atual (ALMEIDA, 1976; GUERRA; GUERRA, 2003; RICCOMINI, 1989; RICCOMINI; SANT’ANNA;

FERRARI, 2005; ROSS, MOROZ, 1997; SÃO PAULO, 2008a; SUGUIO, 1998; TAKIYA, 1997).

A região geomorfológica do RCSB compreende diferentes Unidades Morfoestruturais e Morfoesculturais. O Cinturão Orogênico e as Bacias Sedimentares (do Paraná e Cenozóicas) são as morfoestruturas que definiram o arcabouço estrutural das morfoesculturas, geradas por processos erosivos, como o Planalto Atlântico, o Planalto de São Paulo, a Depressão do Médio Paraíba, a Depressão do Baixo Ribeira e as Planícies Litorâneas e Fluviais. Nessas áreas desenvolveram-se planícies e terraços aluviais e fluviais, colinas, escarpas e morros que no setor paulista do Planalto Atlântico tem altitudes que variam entre 650 a 1600 m (ALMEIDA, 1976; RICCOMINI, 1989; ROSS, MOROZ, 1997; SÃO PAULO, 2008a; TAKIYA, 1997).

A Bacia de São Paulo, de origem tectônica e flúviolacustre, foi preenchida por sedimentos que podiam alcançar 300 m de espessura. Acumulados sob a condição de clima tropical e com forte influência dos sistemas fluviais (Figura 11). As bordas da bacia são contornadas pela estrutura do embasamento pré-cambriano, e a superfície de erosão, nivelada pelo Alto Tietê, tem aproximadamente 850 m de altura. As cotas mais altas estão nas montanhas da Serra de Itaberaba, onde podem atingir valores superiores a 1.400 m de altitude. Falhas pós-sedimentares causaram soerguimentos e abatimentos locais no substrato dessa bacia (ALMEIDA, 1976; BUENO, 2013; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; SÃO PAULO, 2009; TAKIYA, 1997).

A Bacia de São Paulo está contida na Zona denominada Planalto Paulistano, correspondente aproximado do Planalto de São Paulo na subdivisão proposta por Ross e Moroz (1997). O Planalto de São Paulo tem extensão próxima a 5.000 km², altitudes predominantes entre 760 e 900 m (Figura 12), vertentes com declividades que oscilam entre 20 e 30% e patamares aplainados com altimetria média de 740 m e declividade entre 5 e 10%. Os depósitos sedimentares ocorrem em uma área de 1.000 km² e conferem à Bacia de São Paulo uma forma quase ovalada, com um eixo maior longitudinal de 75 km e um eixo menor de 25 km (Figura 11), correspondendo respectivamente às localidades de Arujá (leste), Embu-Guaçu (oeste), Santo André (sul) e Santana (norte) (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; ALMEIDA, 1976; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; SÃO PAULO, 2009; TAKIYA, 1997).

Figura 11 – Arcabouço geológico da Bacia de São Paulo e sudoeste da Bacia de Taubaté: “1) embasamento pré-cambriano; 2) Formação Resende (sistema de leques aluviais proximais); 3) Formação Resende (sistema de leques medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); 4) Formação Tremembé; 5) Formação São Paulo; 6) Formação Itaquaquecetuba; 7) sedimentos quaternários; 8) falhas cenozóicas, em parte reativadas do embasamento pré-cambriano”.

Fonte: RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005, p. 393.

Figura 12 – Unidades de altitudes da RMSP. Nos tons mais claros, em amarelo e laranja, prevalecem os depósitos sedimentares das formações litoestratigráficas. Os tons escuros estão associados ao embasamento.

Fonte: BUENO, 2013.

As rochas do embasamento pré-cambriano pertencem ao Cinturão de Dobramentos do Ribeira, que se desenvolveram durante o Ciclo Tectônico Brasileiro, com variedades metamórficas representadas por: gnaisses, xistos, filitos, anfibolitos, quartzitos, milonitos, blastomilonitos e migmatitos. O granito, uma rocha ígnea intrusiva (plutônica), formou maciços ou invadiu camadas de rochas metamórficas (Figura 13) (ALMEIDA, 1976; SÃO PAULO, 2008a, 2009, 2017a; RICCOMINI, 1989; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; TAKIYA, 1997).

Os depósitos sedimentares da Bacia de São Paulo pertencem às unidades litoestratigráficas da Formação Resende, Tremembé, São Paulo e Itaquaquetuba. Compostas por argila orgânica, argila, turfa, areias de granulometria variada, colúvio argiloso e colúvio (Figura 13). Os depósitos foram formados em sistemas fluviais meandrant, de leques aluviais, entrelaçados e lacustres (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; TAKIYA, 1997).

Figura 13 – Unidades geológicas presentes na RMSP. Os tons mais claros de amarelo, no centro da figura, representam os sedimentos e rochas que formam a Bacia de São Paulo.

Fonte: BUENO, 2013.

A característica litológica predominante na Bacia de São Paulo é a presença da matriz argilosa e argilo-arenosa em argilitos, lamitos, conglomerados, brechas, diamictitos e arenitos. As formações Resende, Tremembé e São Paulo são do Terciário (Paleógeno) e a Formação Itaquaquetuba do Quaternário (Pleistoceno). Os depósitos de colúvio aluvial, nas planícies de inundação, e os baixos terraços são Quaternários e estão assentados sobre as formações litoestratigráficas (Figura 11) (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; SÃO PAULO, 2017a; SUGUIO et al., 2010; TAKIYA, 1997).

Os sedimentos das formações Resende e São Paulo são os que oferecem as condições geotécnicas mais favoráveis às edificações por serem menos susceptíveis à erosão. Já as coberturas Quaternárias são susceptíveis a escorregamentos, por serem mais porosos e com baixa compacidade e consistência (RICCOMINI, 1989; TAKIYA, 1997).

O relevo da Bacia de São Paulo tem como principal força exógena a interferência antrópica como ação geomorfológica (antropogeomórfológica). Fatores como o predomínio da Formação Resende, que representa mais de 80% do preenchimento sedimentar, e da topografia suave e homogênea compuseram uma paisagem que favoreceu o estabelecimento do maior centro urbano do conjunto do Planalto Atlântico. O Município de São Paulo tem 12.038.175 habitantes, que correspondem à aproximadamente 6% da população brasileira, mas sua densidade demográfica, de 7.914,07 habitantes por km², é mais que 300 vezes superior aos aproximados 24,2 habitantes por km² do Brasil (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; EMPLASA, 2017; IBGE, 2017c, 2017d; LUZ, 2010, 2015; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; RICCOMINI; COIMBRA, 1992; RODRIGUES, 2005, 2015; TAKIYA, 1997).

O mapa geomorfológico (Figura 14) da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta os grandes compartimentos e o modelado do relevo da região: as áreas do embasamento pré-cambriano e da Bacia de São Paulo (LUZ, 2010, 2015; RODRIGUES, 2004).

Figura 14 – Mapa com a morfologia original da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Fonte: BUENO, 2013; RODRIGUES, 2004, 2005, 2015; LUZ, 2010, 2015.

O embasamento pré-cambriano contém a Unidade Morfoescultural do Planalto Atlântico (Planalto Paulistano/Alto Tietê), que corresponde à borda granítico-gnáissica que circunda a Bacia Sedimentar de São Paulo, sendo possível visualizar alguns Tipos de Relevo característicos como a Serra da Cantareira (norte), Serra do Itaquí (norte), Serra do Itapeti (leste) e as escarpas da Serra do Mar e de Paranapiacaba (sul) (Figura 14). Os Tipos de Relevo associados à Unidade Morfoescultural do Planalto de São Paulo, na Bacia de São Paulo (integrante da Unidade Morfoestrutural das Bacias Sedimentares Cenozoicas) são as planícies aluviais, colinas sedimentares e os terraços fluviais (ALMEIDA; 1974; IPT, 1981; LUZ, 2010, 2015; RODRIGUES, 2004; ROSS; MOROZ, 1997).

As formas de relevo propostas por Ab'Sáber (2010a, 2010b), para o Município de São Paulo, estão adequadas para o desenvolvimento de planos ambientais e estratégias de ordenamento territorial. A utilização de procedimentos e técnicas recentes de sensoriamento remoto “forneceu um mapa muito semelhante” às descrições de Ab'Sáber (2010a, 2010b) (MANFRÉ, 2015, p. 53). Esse resultado demonstrou, indiretamente, a qualidade da base cartográfica utilizada na análise da topografia, o mapeamento SARA Brasil, realizado em São Paulo entre 1929 e 1933, pela empresa italiana Società Anonima di Rilevamenti Aerofotogrammetrici – SARA. Cabe ressaltar que, considerando o Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System* – GNSS), o erro do mapeamento SARA supera o nível mínimo de precisão geométrica (0,5 m) e planimétrica aceito pelos padrões atuais da verificação cartográfica, mas ainda é muito relevante pela escala em que foi produzido, de 1:1.000, e pela qualidade da representação das feições (LIMA, 2013; LUZ, 2010, 2015).

Na cidade de São Paulo a amplitude topográfica entre o fundo dos vales do Tietê e Pinheiros (720 m) e as colinas mais elevadas (810–830 m) do divisor de águas, o Espigão Central, tem um intervalo aproximado de 100 m. O espigão central é uma feição alongada e estreita, com flancos direcionados para NE e SW em patamares escalonados (Figura 15). “A Avenida Paulista superpõe-se exatamente ao eixo principal desse espigão” (AB'SÁBER, 2010a, p. 184; PMSP, 2016a).

A vertente do Espigão Central é formada por flancos e escalonamentos de níveis intermediários mais pronunciados na direção do vale do Tietê (Figura 15), com uma série de espigões secundários, separados por pequenos vales paralelos e pouco ramificados. A face orientada para o rio Pinheiros é pouco festonada com

declives rápidos e diretos que são suavizados na região do Jardim Europa (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

Figura 15 – Perfil (SW–NE) topográfico, no Município de São Paulo, com o espigão central (805–815 m), o nível intermediário esculpido nos flancos do espigão (745–740 m) e os baixos terraços fluviais com cascalheiros (725–730 m).

Fonte: AB'SÁBER, 2010a.

Os elementos topográficos da bacia sedimentar que forneceram a base para as edificações do sítio urbano da cidade de São Paulo, são:

1. Altas colinas de topo aplainado do Espigão Central — com altitudes que variam entre 805 e 830 m (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

O Espigão Central tem aproximadamente 13 km de extensão e alinhamento predominante SE–NW. O trecho na cidade de São Paulo, entre a Região Sul e Oeste, que percorre os distritos do Jabaquara, Vila Mariana e Perdizes, corresponde à sua forma mais característica. É composto por formações sedimentares, da Formação São Paulo, com estratificação concordante em sucessões que alternam camadas com argilas ou areias finas e médias (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; TAKIYA, 1997).

Tradicionalmente, as altas colinas de topo aplainado, forneceram terrenos para bairros residências de alto e médio padrão (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

2. Altas colinas dos rebordos dos espigões principais — com dois compartimentos distintos, os altos esporões dos espigões principais (colinas do Sumaré), e as “altas colinas isoladas ou ligeiramente isoladas em relação aos rebordos dos espigões principais (colinas da Aclimação)”. As altitudes variam entre 780 e 830 m, com desníveis que variam entre 60 a 110 m, em relação ao talvegue dos rios (AB'SÁBER, 2010a, p. 186; AB'SÁBER, 2010b).

No Espigão Central, a vertente do Pinheiros é menos estratificada (festionada) com formas mais homogêneas. A menor capacidade de escavação dos afluentes equilibrou o entalhamento dos talvegues com os processos de alargamento das vertentes, condicionando uma drenagem pouco ramificada em comparação à vertente do Tietê. Onde a atividade dos afluentes produziu entalhamentos verticais e laterais mais pronunciados dos espigões secundários (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; PMSP, 2016a, 2016b).

3. Patamares e rampas suaves escalonados dos flancos do Espigão Central — formam áreas planas, descontínuas e perpendiculares ao eixo do divisor Tietê-Pinheiros. Correspondem ao substrato de avenidas radiais direcionadas pelo Espigão Central, como as avenidas Lins de Vasconcelos, Consolação, Angélica, Cardoso de Almeida e Pompeia. Possuem altitudes que variam de 750 a 800 m (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

Os flancos do Espigão Central alternam plataformas planas descontínuas e diversos graus de ruptura de declive. Não há correspondência entre os níveis desses altos patamares, o perfil é dissimétrico. No flanco orientado para o Tietê há um espaçamento mais pronunciado entre os patamares, que são reduzidos e suavizados na direção do Pinheiros (Figura 15; 16) (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

Figura 16 – Perfil geológico e compartimentos geomorfológicos em setor entre a Vila Sônia e a Luz, no Município de São Paulo.

Fonte: LUZ, 2010.

4. Colinas tabulares do nível intermediário — plataformas “dispostas de 15 a 25 m acima do nível dos baixos terraços fluviais e planícies de inundação do Tietê e do Pinheiros”, forneceram importantes terrenos para a expansão e consolidação

do sítio urbano, onde, surgiram e se desenvolveram os distritos do Jardim Paulista, Itaim Bibi (Vila Nova Conceição e Brooklin), Moema (Indianópolis), Santo Amaro, Belém e Tatuapé. A altitude média é praticamente constante, variando entre 740 e 745 m (AB’SÁBER, 2010a, p. 187; PMSP, 2016a, 2016b).

As colinas tabulares do nível intermediário são as feições morfológicas mais bem definidas e constantes no relevo da cidade de São Paulo. Presentes na vertente do Pinheiros e do Tietê, são formas largas, tabulares ou onduladas e dissecadas por uma rede de drenagem não muito densa de pequenos afluentes. Tais colinas são testemunhos de terraços antigos, pliocênicos, desnudados de seus depósitos aluviais e remodelados ativamente por epíclis erosivos. Grande parte da área central da cidade (Largo do Arouche, Santa Cecília e Braz) está sobre as colinas desse nível (AB’SÁBER, 2010a).

A retomada de erosão posterior à formação do nível tabular, aliada à ação de deriva lateral dos talwegues principais e à superimposição forçada dos subafluentes “estendidos”, foi a responsável pela gênese da topografia atual da área central da cidade (AB’SÁBER, 2010a, p. 211).

5. Baixas colinas terraceadas (*strath terraces*) — áreas relativamente planas, descontínuas e pouco extensas, situadas entre 4 e 6 m acima das planícies aluviais, contíguas aos terraços fluviais típicos (*fill terraces*). Tais substratos podem ser observados na região do distrito do Itaim Bibi e do Tatuapé (Parque São Jorge). Na paisagem são representadas por formas de relevo com declives suaves que foram retalhados pelos baixos vales dos afluentes do Tietê e Pinheiros. Com altitudes que variam entre 730 e 735 m (AB’SÁBER, 2010a, 2010b; PMSP, 2016a, 2016b).
6. Terraços fluviais de baixadas relativamente enxutas — com a base sustentada por cascalheiras e aluviões areno-argilosos. Áreas típicas de ocorrência são registradas nos distritos do Brás, Pari (Canindé), Jardim Paulista (Jardim América), Moema, Pinheiros, Santo Amaro e Lapa. Sendo verificados trechos também no município de Osasco, no bairro de Presidente Altino. As altitudes médias variam entre 724 e 730 m (AB’SÁBER, 2010a, p. 187; LUZ, 2010, 2015; PREFEITURA DE OSASCO, 2016; PMSP, 2016a, 2016b).

Os terraços fluviais de baixadas relativamente enxutas são plataformas aluviais, que estão entre 15 e 25 m abaixo do nível tabular intermediário e de 3 a 7 m acima das planícies de inundação do Tietê, do Pinheiros e de seus principais tributários. Os setores topográficos, nos quais estão mais evidentes, são os dos arredores da confluência do Tietê com o Pinheiros, entre a Cidade Universitária, no distrito do Butantã, e o bairro de Presidente Altino, em Osasco (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

7. Planícies de inundação sujeitas a inundações periódicas — zonas largas e contínuas com altitudes que variam entre 722 e 724 m (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; PMSP, 2016a, 2016b; LUZ, 2010, 2015).
8. Planícies de inundação sujeitas a enchentes anuais — zonas marginais com altitude que variam entre 718 e 722 m. As planícies de inundação do Tietê, Pinheiros e seus principais afluentes são feições alongadas, com largura média de 1,0 a 2,5 km, formadas por aluviões. As suas principais faixas de ocorrência, originalmente tinham extensão de 25 km, na direção leste e oeste, da Penha a Osasco, e de 20 km entre Santo Amaro e o encontro dos rios Tietê e Pinheiros, orientada na direção sul-norte (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; LUZ, 2010, 2015; PMSP, 2016a, 2016b).

As colinas e outeiros de além-Tietê são feições situadas na margem direita do vale, imediatamente após as planícies de inundação, com altitudes que variam entre 790 e 810 m. A sua ocorrência pode ser observada desde Guarulhos até a Região Norte de São Paulo, como morros baixos formando esporões da Serra da Cantareira. As colinas e outeiros podem ser constituídos por granitos, granitos e xisto, ou granitos e gnaisses cobertos por sedimentos pliocênicos (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

A margem esquerda do Pinheiros repete o contexto geomorfológico observado na margem direita do Tietê. Sucedendo às planícies de inundação, seguem-se “flancos íngremes e encostas bem marcadas de outeiros alinhados e de altas colinas do nível de 790–810 m”. É possível observar, nas colinas mais altas, zonas de contato entre as camadas sedimentares pliocênicas (topo) e o embasamento pré-devoniano (base). O contato ocorre nas regiões do Morumbi, a 760–790 m, na Cidade Jardim e Butantã, a 730 m e no bairro do Jaguaré a 740–745 m (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

As colinas e os outeiros alinhados em relação à confluência do Tietê-Pinheiros, caracterizam-se por seus perfis abruptos e assimétricos em relação às baixadas, aos terraços e aos patamares intermediários escalonados, existentes no ângulo interno dessa confluência (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

Outro ponto de contato entre o cristalino e o Terciário é o vale do rio Pirajuçara. Um rio subsequente ou direcional, entalhado entre “encostas de altos outeiros gnáissicos alinhados”, em sua margem esquerda, e estruturas sedimentares pliocênicas, em sua margem direita (AB'SÁBER, 2010a, p. 209).

As colinas e terraços de além-Tamanduateí estão encaixadas entre as vertentes orientais das colinas (740–750 m) do Centro da cidade de São Paulo e as altas encostas dos outeiros (780–790 m) do distrito da Penha. São colinas de nível médio com altitudes que variam entre 735 e 750 m. Os terraços fluviais, com altitudes entre 725 e 730 m, foram a base das construções dos distritos do Brás, Mooca e Pari. O setor contido no distrito do Belém “tem topografia ascende em rampa extremamente suave”, até o nível tabular intermediário das colinas, entre 740 e 745 m, no distrito do Tatuapé (AB'SÁBER, 2010a, p. 210; PMSP, 2016a, 2016b).

As colinas de nível médio, características do Tatuapé, declinam para terraços fluviais nas proximidades do Parque São Jorge, já na área de influência da foz do rio Aricanduva. No distrito da Penha sobressaem as feições mais elevadas (790–805 m) onde há nítida imposição do relevo à estrutura urbana (AB'SÁBER, 2010a, 2010b).

O mapa com as formas do relevo do Município de São Paulo (Figura 17) foi elaborado por meio dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), interpolados para 30 m, do projeto TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), e a aplicação da técnica de análise de imagens baseada em objetos (OBIE). Esse resultado, obtido por processos de segmentação e cálculo estatístico, detalha o relevo de forma consistente com as descrições de Ab'Sáber (2010a, 2010b) e a Carta Geotécnica do Município de São Paulo (Figura 18) (MANFRÉ, 2015; MANFRÉ; NÓBREGA; QUINTANILHA, 2014; PMSP, 2005).

Figura 17 – Mapa com as formas de relevo do Município de São Paulo. A letra A indica o rio Tietê, B o rio Pinheiros, C a Serra da Cantareira e D colinas da Serra do Mar. As classes representadas pela legenda (cima a baixo) são: Água (azul), Planícies de Inundação (tom de verde claro), Terraços (verde), Planaltos (verde escuro), Colinas Convexas (amarelo), Colinas Côncavas (laranja), Montanhas Côncava (vermelho), Montanhas Convexas (marrom).

Fonte: MANFRÉ, 2015; MANFRÉ; NÓBREGA; QUINTANILHA, 2014.

Figura 18 – Representação simplificada das classes geotécnicas. As categorias xisto, aterro e bota fora foram agrupadas. A drenagem sobreposta só aponta os principais rios vinculados aos corpos de água, com destaque para as represas Billings e Guarapiranga, no sul do Município de São Paulo.

Fonte: PMSP; SEMPLA; IPT, 2005.

As planícies de inundação são as formas de relevo submetidas ao grau mais elevado de intervenções antrópicas. A estimativa de perda destas feições é de 80%, sendo promovidas por perturbações irreversíveis de represamentos, canalizações, retificações, instalações de estruturas hidráulicas e por processos urbanos de cortes, aterros, fundações, edificações e impermeabilização da superfície. Áreas contínuas, com remanescentes íntegros e atributos geomorfológicos originais estão restritas ao setor leste da APA da Várzea do rio Tietê, nos municípios de São Paulo, Itaquaquecetuba, Suzano, Guarulhos, Mogi das Cruzes e Biritiba Mirim. Estimativas realizadas no rio Pinheiros revelaram que apenas 0,78% da planície de inundação e dos baixos terraços apresentam baixo grau de perturbação antrópica. No rio Tamanduateí 90,5% das planícies de inundação foram impermeabilizadas ou aterradas, o que causou redução de 83,7% a capacidade de armazenamento de águas (LUZ, 2014; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010; RODRIGUES, 2015; TAKIYA, 1997; SÃO PAULO, 2017a).

Os elementos topográficos altas colinas de topo aplainado do Espigão Central, altas colinas dos rebordos dos espigões principais, patamares e rampas suaves escalonados dos flancos do Espigão Central e as baixas colinas terraceadas passaram por intervenções antrópicas sequenciais de supressão da cobertura vegetal, movimentação de terra por corte/aterros e impermeabilização do solo para as edificações e implantação do sistema viário da cidade de São Paulo. Os processos hidromorfodinâmicos foram cessados, passando a predominar, escoamento superficial. Como já destacado, os componentes do relevo foram propícios à urbanização sendo o seu modelado ainda observado na paisagem da metrópole (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; SÃO PAULO, 2017a; TAKIYA, 1997).

3.1.2 Aspectos Climáticos

O clima indica o padrão médio dos tempos de uma área. É a descrição de ciclos, de escalas diárias a milhares de anos, que fazem com que o fluxo de energia solar varie e interfira nas variáveis atmosféricas, como temperatura e precipitação. As resultantes da temperatura e precipitação dependem das coordenadas terrestres de latitude, longitude e altitude capazes de determinar a quantidade de energia solar

que alcança e permanece retida nas camadas atmosféricas mais próximas da superfície (STRAHLER, 2011; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Além dos fatores ou controles climáticos relacionados às coordenadas terrestres, ocorrem fenômenos cíclicos que potencializam ou atenuam a temperatura e a precipitação, como a circulação e oscilação oceânica, responsáveis pelas correntes marítimas e pelo El Niño, e as variações gravitacionais e orbitais da Terra que geram os períodos glaciais e interglaciais, em ritmos de 10.000 a 400.000 anos (BOER; SMITH, 1997; PÄLIKE, 1995; STRAHLER, 2011).

Considerando os controles climáticos e o seu aspecto cíclico é possível descrever e classificar diferentes tipos de climas, tendo como referência os valores médios de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, dentre outras variáveis. Para facilitar a compreensão da abrangência dos fenômenos na área de estudo são necessárias referências e dados das categorias analíticas de macro, meso e microescala. Entretanto, a disponibilidade de trabalhos publicados é uma condição para a análise das múltiplas escalas, havendo uma concentração de estudos principalmente na macroescala, englobando a Região Sudeste do Brasil e o Estado de São Paulo (PEREIRA; AGELOCCI; SENTELHAS, 2009; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a).

A RMSP está na condição climática de latitude média (Grupo II), em uma zona de frente polar de intensa interação entre diferentes massas de ar. As massas de ar tropical, que se movem em direção aos polos, e as massas de ar polar, que se movem em direção ao equador. O clima é do tipo monçônico com ventos alísios costeiros (Figura 19), sendo característico o forte padrão sazonal das chuvas, sempre abundantes nos meses de verão devido à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), na faixa de encontro dos alísios de nordeste com os de sudeste. O sistema de classificação de Köppen indica para esta região variedade Am, do clima monçônico, com médias de temperatura acima de 18 °C e uma estação seca curta (REBOITA et al., 2010; SÃO PAULO, 2017a; STRAHLER, 2011; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Figura 19 – Regiões do continente Americano com clima equatorial úmido (1) e monçônico com ventos alísios costeiros (2). A RMSP está inteiramente contida na zona 2.

Fonte: STRAHLER, 2011.

As chuvas são produzidas pelas massas de ar marítima tropical (mT) e marítima equatorial (mE), carregadas de umidade, movidas em direção à costa por estreitas faixas de ventos alísios costeiros. As chuvas são suficientes para manter o solo úmido durante a maior parte do ano (Figura 20), sustentando os fluxos d'água superficiais e possibilitando o desenvolvimento de formações vegetais densas, como florestas e complexas associações arbóreo-arbustivas e arbustivo-herbáceas. No Estado de São Paulo, os índices de pluviosidade são influenciados pelas escarpas da Serra do Mar. Em um transecto, partindo das Planícies Litorâneas em direção à Bacia Sedimentar de São Paulo se verifica aumento da precipitação nas encostas das escarpas da Serra do Mar na face a barlavento, em função do efeito orográfico do relevo (CAMPOS, 2013; ROSS, 1997; SÃO PAULO, 2017a; STRAHLER, 2011; PEREIRA; AGELOCCI; SENTELHAS, 2009).

Figura 20 – Precipitação média anual (mm) para o período entre 1979–1995, baseada na análise de índices diários de precipitação no Brasil, e médias mensais para o restante da América do Sul.

Fonte: REBOITA et al., 2010; SHI et al., 2017.

No Estado de São Paulo, a estação chuvosa é o verão e a seca, o inverno (Figura 21). Os raios solares incidem mais perpendicularmente ao longo do Trópico de Capricórnio nos meses de verão. Há um maior aquecimento da superfície terrestre, com o registro de temperaturas mais elevadas (Figura 22), e transferência de calor por condução através do ar aquecido. O ar dos níveis mais afastados da superfície receberá o calor por correntes de convecção, e se o ar ascendente contiver vapor d'água poderão ocorrer condensações, a formação de nuvens e posteriormente a precipitação. As camadas muito elevadas se aquecem pela radiação de retorno, emitidas pela própria superfície da Terra (REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a).

Figura 21 – Precipitação média (mm/dia) sazonal na América do Sul, para o período de 1979 a 2010. Na imagem que representa a média de precipitação no inverno, referenciada pela letra c, é possível observar que o setor central do Brasil, que inclui o Estado de São Paulo e a Região Metropolitana de São Paulo, tem índices próximos ou inferiores a 1 mm/dia.

Fonte: REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a.

Figura 22 – Temperatura média mensal compensada ($^{\circ}\text{C}$), obtida pelo cálculo das Normais Climatológicas do Brasil (1961–1990). São apresentados os meses de janeiro (verão), maio (outono), julho (inverno) e outubro (primavera). É possível verificar que, no Estado de São Paulo, as temperaturas altas no verão contrastam com índice mais baixo no inverno.

Fonte: INMET, 2017.

As médias mensais acumuladas de precipitação (Figura 23) destacam o período chuvoso de outubro a abril (primavera-verão), e a estação seca de abril a setembro (outono-inverno). O mês mais chuvoso é janeiro, com índice superior a 240 mm, e o mais seco é julho com aproximadamente 40 mm. A prevalência dos

totais pluviométricos máximos de verão, no Estado de São Paulo, resulta da combinação da maior intensidade convectiva com os sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul (PRADO, 2010; REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a).

Figura 23 – Precipitação (mm) média mensal, para o Estado de São Paulo, no período de 1901 a 2007. As chuvas são mais abundantes nos meses de primavera-verão (1, 2, 3 e 12), ocorrendo uma nítida escassez no outono-inverno (5, 6, 7 e 8).

Fonte: PRADO, 2010.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se estende em sentido NO–SE (Figura 24), eleva os totais de precipitação como o que ocorreu no dia 14/01/11, no Município de São Paulo, quando foi registrado quase 100 mm de chuva em menos de 24 h. A formação e permanência da ZCAS deve-se a interação dos sistemas destacados na Figura 25. Na Região Metropolitana de São Paulo, as brisas marítimas também influenciam a precipitação, promovendo a instabilidade do ar e a ocorrência de chuviscos, podendo acentuar eventos de chuvas intensas (REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a).

Figura 24 – Atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), registrada no dia 14/01/2011, às 20:00 UTC (17 h local). Os bastões em vermelho mostram a direção desse sistema atmosférico. Caracterizado como uma banda de nebulosidade, entre a Amazônia e o Atlântico Sul, que intensifica as chuvas regionais no sudeste brasileiro.

Fonte: INPE, 2017; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a.

Figura 25 – Esquema dos sistemas atmosféricos que atuam no verão, na América do Sul. São representados os ventos alísios de nordeste (ANE), os ventos alísios de sudeste (ASE), o anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS), baixa pressão atmosférica — ciclone — (B), os complexos convectivos de mesoescala (CCM), uma frente fria (FF), uma frente quente (FQ), o jato de baixos níveis a leste dos Andes (JBN), o Trópico de Capricórnio (Tróp Cap), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Fonte: REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a.

Os baixos índices pluviométricos no inverno estão associados ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Os anticiclones inibem os movimentos ascendentes na atmosfera e desfavorecem a formação de nuvens e a precipitação. Quando estão deslocados para posição oeste, atuam sobre o sudeste do Brasil, influenciando nas secas no Estado de São Paulo e RMSP. No inverno as chuvas ocorrem pela passagem de sistemas frontais frios (70% da chuva no Município de São Paulo), ciclones costeiros, linhas de instabilidade tropicais e pré-frontais e a

circulação da brisa marinha (PRADO, 2010; REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2012; SÃO PAULO, 2017a; VEMADO, 2012).

As análises de mesoescala, no Estado de São Paulo e RMSP, destacam os efeitos da brisa marítima e da circulação vale-montanha, provocados pela proximidade com o oceano Atlântico e a orientação da linha de costa, para explicar a variação dos valores médios de precipitação anual. Na região costeira os índices podem superar os 1.600 mm, sendo reduzidos para menos de 1.300 mm, no interior de São Paulo (Figura 26) (PRADO, 2010; PRADO et al., 2006; SÃO PAULO, 2017a; VEMADO, 2012).

Figura 26 – Precipitação (mm) anual acumulada para o Estado de São Paulo. O eixo vertical indica as latitudes ($^{\circ}$), e o horizontal as longitudes ($^{\circ}$). Verifica-se um padrão em “faixa”, no qual, o índice de precipitação diminui a partir da região costeira.

Fonte: PRADO, 2010; SÃO PAULO, 2017a.

A instabilidade atmosférica associada à orografia, na Zona Costeira de São Paulo, tem como importante componente os ventos da brisa marinha de direção predominante do quadrante NE/NW com giro para S/SE. A configuração topográfica da Serra do Mar acelera a frente de brisa e promove o alinhamento de núcleos de alta acumulação ao longo das encostas (Figura 27). Quando a frente de brisa

alcança a RMSP o ar úmido e relativamente frio do oceano se mistura com o ar urbano quente e seco, produzindo células ascendentes devido ao maior empuxo vertical e concomitante convergência próxima à superfície em consequência da liberação de calor latente (HAAS, 2002; PEREIRA FILHO et al., 2004; SÃO PAULO, 2008a, 2017a).

Figura 27 – Unidades pluviométricas médias (1941 a 1970) da RMSP. O gradiente indica uma tendência de redução das chuvas, em faixa, na direção aproximada sudeste–noroeste. As vertentes da Serra do Mar e de Paranapiacaba organizam essa distribuição.

Fonte: BUENO, 2013.

Aproximadamente 67% das enchentes, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), estão relacionadas à interação da brisa marítima com a ilha de calor urbana (Figura 28). Esses eventos geralmente ocorrem no período da tarde, entre 13 e 14 h, com a temperatura do ar acima de 30 °C (PEREIRA FILHO et al., 2004; SÃO PAULO, 2017a; VEMADO, 2012).

Figura 28 – Estimativa e distribuição da chuva (mm) acumulada, com base em dados do radar meteorológico de São Paulo, para 18 eventos de enchentes associados à interação da brisa marítima com as circulações da RMSP. A circunferência indica o raio de alcance do radar (240 km).

Fonte: PEREIRA FILHO et al., 2004; SÃO PAULO, 2017a; VEMADO, 2012.

Na RMSP as condições climáticas naturais são de transição entre os Climas Tropicais Úmidos de Altitude, com seca periódica, e os climas subtropicais permanentemente úmidos. A normal climatológica do período 1961–1990, da Estação Meteorológica do Mirante de Santana (latitude 23° 30', longitude 46° 37' e altitude 792 m), indica que o período quente e chuvoso vai de outubro a março (primavera-verão) e o frio e relativamente seco, de abril a setembro (outono-inverno). “A média anual das temperaturas máximas foi de 24,9 °C” (TARIFA; ARMANI, 2000, p. 14), o mês mais frio (julho) registrou 21,8 °C e o mais quente (fevereiro) 28,0 °C. “A média anual das temperaturas mínimas foi de 15,5 °C” (TARIFA; ARMANI, 2000, p. 14), sendo julho o mais frio, com 11,7 °C, e fevereiro o mais quente com 18,8 °C. A umidade relativa varia entre um mínimo de 74%, em agosto, e máximos de 80% em janeiro, março, abril e novembro. A cobertura do céu (nebulosidade em décimos)

varia de um mínimo de 6,1/10 (6,1 décimos), no mês de julho, a um máximo de 8,2/10 (8,2 décimos), em dezembro, e a pluviosidade média anual foi de 1454,8 mm (TARIFA; ARMANI, 2000, 2001a, 2001b).

Esses atributos mensais médios do clima local, inserido na microescala, têm como controle os materiais e tipo de uso e cobertura da terra. A ilha de calor urbano é um fenômeno associado ao fluxo de calor antropogênico e às propriedades térmicas dos materiais utilizados nas construções, que facilitam a dissipação de energia (calor latente, sensível e a radiação) mais rapidamente que as áreas de solo exposto ou com cobertura vegetal. A energia primária consumida e dissipada, no sistema climático local da RMSP, está relacionada aos processos industriais (reações físico-químicas), de biomassa da população (metabolismo humano), do uso residencial (gás e energia elétrica), dos sistemas de transporte (combustão de derivados de petróleo e álcool hidratado), do setor público e estabelecimentos de comércios e serviços (energia elétrica) e dos resíduos das aglomerações humanas (lixo domiciliar) (AZEVEDO, 2001; FERREIRA, 2010; GARTLAND, 2008; PEREIRA; AGELOCCI; SENTELHAS, 2009; TARIFA; ARMANI, 2000, 2001b).

Na RMSP as áreas de concentração de atividades humanas estão sobrepostas as de maior adensamento e rugosidade das edificações, impermeabilização do solo e ausência ou baixa densidade de vegetação. O contraste térmico entre os setores mais urbanizados do Município de São Paulo e seus arredores confirmam a importância do componente antrópico, na dimensão socioeconômica dos meios de produção, como controlador climático local (Figura 29) (ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2017; AZEVEDO, 2001; FERREIRA, 2010; PEREIRA; AGELOCCI; SENTELHAS, 2009; SÃO PAULO, 2017a; TARIFA; ARMANI, 2000, 2001b; VEMADO, 2012).

A temperatura aparente da superfície (Figura 29) é maior nos contínuos de distritos verticalizados do centro-leste (Bom Retiro, Brás, Mooca), centro-sul (Ipiranga, Sacomã, Jabaquara, Diadema), ao longo dos eixos viários da Marginal Tietê (rio Tietê), Marginal Pinheiros (rio Pinheiros), Presidente Dutra, Avenida do Estado (rio Tamanduateí), Avenida Aricanduva e Castelo Branco (Osasco). Contrastando com as regiões com maior densidade de cobertura vegetal como o Parque Estadual da Cantareira (norte), o Município de Cotia (oeste), Suzano (leste) e os distritos arborizados de Pinheiros, Alto de Pinheiros, Jardim Paulista e Moema

(ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2017; AZEVEDO, 2001; SÃO PAULO, 2017a; TARIFA; ARMANI, 2000, 2001b; VEMADO, 2012).

Figura 29 – Imagem do satélite LANDSAT-7 (canal termal – banda 6) às 10:00 horas local do dia 03/09/1999. Os tons entre o amarelo e o vermelho assinalam a concentração de calor em contraste com os de azul, com temperaturas mais amenas, menor em até 8 °C.

Fonte: ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2017; TARIFA; ARMANI, 2000, 2001b.

3.1.3 Cobertura Vegetal e Tipos de Solos

A análise da paisagem tem como componente central a vegetação. Essa importância deriva do seu amplo espectro de interações estabelecidas nos sistemas naturais. Uma mudança ou dinâmica, “alterações da estrutura e função de uma

paisagem ao longo do tempo”, é mais facilmente percebida na vegetação (CAMPOS, 2013, p. 43; TROLL, 2007).

A mudança pode ser ocasionada por processos normais (naturais) ou por impactos antropogênicos. E as abordagens científicas consagradas para analisar esse sistema de entrada (causa), transformação e saída (consequência), são os métodos e técnicas da Cartografia, do Sensoriamento Remoto e da Ecologia da Paisagem (ANDRÉN, 1994; CHRISTOFOLETTI, 1979, 2002; FORMAN; GODRON, 1986; KLINK, 1981; LANG; BLASCHKE, 2009; METZGER, 1999, 2006; METZGER; DÉCAMPS, 1997; SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; QUINTELA, 2001; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O’NEILL, 2001; WILCOVE; MCLELLAN; DOBSON, 1986).

A vegetação nativa da RMSP era formada por mosaicos de campos e florestas. Compartimentada nas planícies de inundação, colinas, vertentes e topos. As perturbações antrópicas na cobertura vegetal, até o século XIX, foram desencadeadas pelos usos indígenas baseados na alternância de solos, com corte e queima, para as práticas agrícolas. O ciclo do café, a partir de 1850, promoveu a agricultura com desmatamentos de grande escala (DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001; FURLAN, 2004; PMSP, 2002; SÃO PAULO, 2017a).

A economia cafeeira financiou as obras de infraestrutura para o escoamento do café pelo Porto de Santos, criando as condições favoráveis ao processo de industrialização. A indústria, os sistemas viários e de transporte foram os indutores econômicos da concentração populacional e rápida expansão urbana da metrópole paulista (FURLAN, 2004; MAUTNER, 2004; PMSP, 2002; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009).

Outros eventos também causaram impactos na cobertura vegetal nativa. As obras de construção das represas Billings e Guarapiranga (iniciadas em 1901), o uso frequente de madeira como combustível residencial, na construção de moradias, de infraestrutura e a introdução ou invasão biológica de plantas e animais exóticos (FURLAN, 2004; SÃO PAULO, 2017a).

As perturbações antrópicas geraram uma paisagem com fragmentos florestais secundários, em estágios iniciais a médios. Os poucos fragmentos grandes que restaram estão em setores com maior altitude e declividade do embasamento, particularmente difíceis à ocupação antrópica, e protegidos por Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral (PI) (BUENO, 2013; BARRETTO;

CATHARINO, 2015; DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001; METZGER, 2000; METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; SÃO PAULO, 2008b).

Análises da cobertura e configuração da paisagem para 245.173 fragmentos da Floresta Atlântica brasileira com métricas de tamanho do fragmento (área), área núcleo ou interior (efeito de borda), conectividade, isolamento e distância (entre fragmentos e unidades de conservação) demonstrou o predomínio de fragmentos com classe de área menor que 50 ha (83,4%) (Figura 30), isolamento médio de 1.441 m e distância entre borda e área sem floresta inferior a 250 m para 73% dos fragmentos avaliados. Dados dos remanescentes da vegetação do Estado de São Paulo também destacam valores elevados de fragmentação, com mais de 90% dos fragmentos com área menor que 50 ha (METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; SÃO PAULO, 2008b).

Figura 30 – Distribuição das classes de tamanho dos fragmentos florestais para toda a região da Floresta Atlântica no Brasil. %A: porcentagem de área total; %NP: porcentagem de número de fragmentos.

Fonte: RIBEIRO et al., 2009.

A Serra do Mar, nas escarpas do Estado de São Paulo, destaca-se por conter os fragmentos mais conservados da Floresta Atlântica. Mantendo 36,5% de

sua vegetação original e os fragmentos com maior disponibilidade de habitat; um único fragmento contínuo tem 1.109.546 ha, representando 7% dos remanescentes florestais. Nessa região o impacto do efeito de borda é menor, já que, 75% dos fragmentos estão a mais de 100 m de qualquer borda sem floresta, havendo alta porcentagem de área núcleo, com 256.040 ha distando ao menos 2.5 km da matriz, alcançando até 12 km em alguns setores (RIBEIRO et al., 2009).

A cobertura e configuração dos fragmentos da Serra do Mar, associadas à proteção do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM), disponibilizam uma fonte estável de indivíduos e espécies para a manutenção dos fragmentos menores do entorno, na RMSP (RIBEIRO et al., 2009).

A área da RMSP é o domínio da Mata Atlântica, com tipo predominante de vegetação de Floresta Ombrófila Densa (Figura 31), em uma zona de transição, com flora proveniente de outras formações florestais: da Floresta Pluvial Tropical ou Ombrófila Densa Atlântica, da Serra do Mar, da Floresta Pluvial Temperada ou Ombrófila Mista com Araucária, do sul do país, e da Floresta Estacional Semidecídua, do interior do Estado de São Paulo (AB'SÁBER, 2010d; IBGE, 2012; PMSP, 2002; RAIMUNDO, 2006; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

A caracterização da composição e estrutura florística foi baseada em análises de fragmentos em diferentes estágios de conservação. Em áreas de florestas maduras (Figura 32) o dossel e o sub-bosque configuram-se como um “estrato heterogêneo, tanto pela elevada riqueza de espécies quanto pela variação de altura (20–30 m)”. Os indivíduos emergentes podem alcançar 40 m e as espécies típicas de sub-bosque variam entre 6 e 12 m (BARRETTO; CATHARINO, 2015, p. 461).

Nesses fragmentos maduros o valor médio da área basal foi $46,1 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e da densidade de $1.572 \text{ ind}.\text{ha}^{-1}$. A alta diversidade das áreas foi obtida com o índice de Shannon da comunidade (4,62), o maior valor já registrado para a RMSP. As categorias sucessionais são amplamente dominadas por secundárias tardias (72%), seguidas pelas secundárias iniciais (24%) e pioneiras (4%). Quanto à síndrome de dispersão das espécies predominou a zoocoria (84%) sobre a anemocoria (11%) e autocoria (5%) (BARRETTO; CATHARINO, 2015).

Figura 31 – Cobertura vegetal, baseada no inventário de 2009 do Instituto Florestal de São Paulo, associada às Unidades de Conservação (UCs) na RMSP. As UCs, cadastradas no MMA, foram representadas com precisão gráfica de 8,41 ha e as manchas de vegetação com 0,36 ha (escala aproximada de 1:300.000). É importante observar as represas como barreiras efetivas à conectividade dos fragmentos.

Fonte: ANA, 2017; AUTOR, 2017; BRASIL, 2017; EMPLASA, 2002, 2017; GOOGLE Earth, 2016; IBGE, 1998; SÃO PAULO, 2017e; SILVA, 2013.

Figura 32 – Áreas com os fragmentos de florestas maduras selecionadas. **M**: Marsilac, São Paulo; **Q**: Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia; **I**: Itapevi.

Fonte: BARRETTO; CATHARINO, 2015.

Os dados de composição indicaram as famílias *Myrtaceae*, *Lauraceae* e *Rubiaceae* como as mais ricas em espécies (Figura 33) e as espécies que registraram a maior densidade e abundância foram a *Rudgea jasminoides* e a *Guapira opposita* (Figura 34) (BARRETTO; CATHARINO, 2015).

Figura 33 – “Riqueza das famílias das árvores que ocorreram com cinco ou mais espécies” em fragmentos maduros da RMSP. **T**: total; **M**: Marsilac, São Paulo; **Q**: Reserva Florestal do Morro Grande; **I**: Itapevi.

Fonte: BARRETTO; CATHARINO, 2015, p. 450.

Figura 34 – Densidade das espécies arbóreas em florestas maduras, na RMSP (Marsilac, São Paulo; Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia; Itapevi).

Fonte: BARRETTO; CATHARINO, 2015.

Em fragmentos da Reserva da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira” (CUASO), da Universidade de São Paulo, localizados entre 23°33’44” a 23°34’02” S e 46°43’38” a 46°43’49” O, predominaram espécies pioneiras com altura média de 14,5 m (DISLICH, 2002; DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001).

A área basal foi 20,1 m².ha⁻¹ e a densidade 324 ind.ha⁻¹. O cálculo do índice de Shannon revelou diversidade mais baixa, de 3,04 nats.ind⁻¹. Na análise da composição e riqueza de espécies por família, os maiores valores foram registrados respectivamente para *Lauraceae* (7), *Fabaceae* (6), *Myrtaceae* (4) e *Euphorbiaceae* (3) (DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001).

As espécies pioneiras de *Alchornea sidifolia* e *Croton floribundus* obtiveram os resultados mais elevados em todos os parâmetros quantitativos (Figura 35), apesar dos levantamentos demonstrarem maior ocorrência de espécies climácicas (58%), o estágio sucessional “indicou 49% dos indivíduos como pertencentes a espécies pioneiras, 16% a espécies secundárias e 35% a espécies climácicas” (DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001, p. 325).

A comparação entre os fragmentos maduros e em estágio inicial de sucessão ecológica evidencia as melhores condições de porte e composição das florestas maduras, com destaque para os expressivos percentuais de espécies secundárias tardias (BARRETTO; CATHARINO, 2015; DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001).

Figura 35 – Resultados dos parâmetros quantitativos das espécies amostradas. N: número de indivíduos; DA: densidade absoluta (ind.ha⁻¹); DR: densidade relativa (%); DoA: dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR: dominância relativa (%); FA: frequência absoluta (%); FR: frequência relativa (%);VI: valor de importância.

Espécie	N	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	VI
<i>Alchornea sidifolia</i>	58	82,9	25,6	5,80	28,8	74,3	16,4	70,7
<i>Croton floribundus</i>	32	45,7	14,1	2,34	11,6	45,7	10,1	35,8
<i>Cordia ecalyculata</i>	18	25,7	7,9	0,84	4,2	34,3	7,5	19,7
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	8	11,4	3,5	1,02	5,1	11,4	2,5	11,1
<i>Maytenus evonymoides</i>	8	11,4	3,5	0,39	1,9	22,9	5,0	10,5
<i>Machaerium nyctitans</i>	5	7,1	2,2	1,09	5,4	11,4	2,5	10,1
<i>Cedrela fissilis</i>	5	7,1	2,2	0,90	4,5	11,4	2,5	9,2
<i>Cinnamomum triplinerve</i>	6	8,6	2,6	0,50	2,5	17,1	3,8	8,9
<i>Casearia sylvestris</i>	7	10,0	3,1	0,41	2,0	17,1	3,8	8,9
<i>Cecropia glazoui</i>	6	8,6	2,6	0,48	2,4	17,1	3,8	8,8
<i>Machaerium villosum</i>	3	4,3	1,3	0,72	3,6	8,6	1,9	6,8
<i>Archonophoenix cunninghamiana</i>	5	7,1	2,2	0,35	1,8	11,4	2,5	6,5
<i>Andira anthelmia</i>	5	7,1	2,2	0,32	1,6	11,4	2,5	6,3
<i>Eugenia cerasiflora</i>	5	7,1	2,2	0,20	1,0	11,4	2,5	5,7
<i>Rollinia sericea</i>	3	4,3	1,3	0,27	1,4	8,6	1,9	4,6
<i>Nectandra grandiflora</i>	3	4,3	1,3	0,27	1,3	8,6	1,9	4,6
<i>Ficus insipida</i>	1	1,4	0,4	0,69	3,4	2,9	0,6	4,5
<i>Prunus sellowii</i>	3	4,3	1,3	0,22	1,1	8,6	1,9	4,3
<i>Rollinia sylvatica</i>	3	4,3	1,3	0,32	1,6	5,7	1,3	4,2
<i>Alchornea triplinervia</i>	2	2,9	0,9	0,30	1,5	5,7	1,3	3,6
<i>Sorocea bonplandii</i>	3	4,3	1,3	0,15	0,7	5,7	1,3	3,3
<i>Machaerium stipitatum</i>	2	2,9	0,9	0,19	0,9	5,7	1,3	3,1
<i>Guettarda viburnoides</i>	2	2,9	0,9	0,15	0,7	5,7	1,3	2,9
<i>Cordia sellowiana</i>	2	2,9	0,9	0,14	0,7	5,7	1,3	2,8
<i>Inga sessilis</i>	2	2,9	0,9	0,13	0,6	5,7	1,3	2,8
<i>Citharexylum myrianthum</i>	2	2,9	0,9	0,12	0,6	5,7	1,3	2,7
<i>Solanum erianthum</i>	2	2,9	0,9	0,10	0,5	5,7	1,3	2,6
<i>Cupania oblongifolia</i>	2	2,9	0,9	0,10	0,5	5,7	1,3	2,6
<i>Pterocarpus rohrii</i>	1	1,4	0,4	0,30	1,5	2,9	0,6	2,6
<i>Nectandra puberula</i>	2	2,9	0,9	0,12	0,6	2,9	0,6	2,1
<i>Cabralea canjerana</i>	2	2,9	0,9	0,10	0,5	2,9	0,6	2,0
<i>Chorisia speciosa</i>	1	1,4	0,4	0,12	0,6	2,9	0,6	1,7
<i>Ocotea puberula</i>	1	1,4	0,4	0,12	0,6	2,9	0,6	1,7
<i>Zollernia ilicifolia</i>	1	1,4	0,4	0,10	0,5	2,9	0,6	1,6
<i>Cecropia hololeuca</i>	1	1,4	0,4	0,08	0,4	2,9	0,6	1,5
<i>Sloanea monosperma</i>	1	1,4	0,4	0,07	0,3	2,9	0,6	1,4
<i>Vitex polygama</i>	1	1,4	0,4	0,06	0,3	2,9	0,6	1,4
<i>Tibouchina granulosa</i>	1	1,4	0,4	0,06	0,3	2,9	0,6	1,4
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	1	1,4	0,4	0,06	0,3	2,9	0,6	1,4
<i>Myrcia multiflora</i>	1	1,4	0,4	0,05	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Tapirira guianensis</i>	1	1,4	0,4	0,05	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Endlicheria paniculata</i>	1	1,4	0,4	0,05	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Ocotea laxa</i>	1	1,4	0,4	0,05	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1	1,4	0,4	0,04	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Eugenia sphenophylla</i>	1	1,4	0,4	0,04	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Maytenus robusta</i>	1	1,4	0,4	0,04	0,2	2,9	0,6	1,3
<i>Linociera arborea</i>	1	1,4	0,4	0,04	0,2	2,9	0,6	1,2
<i>Ocotea odorifera</i>	1	1,4	0,4	0,03	0,2	2,9	0,6	1,2
<i>Campomanesia guaviroba</i>	1	1,4	0,4	0,03	0,1	2,9	0,6	1,2
<i>Cyathea delgadii</i>	1	1,4	0,4	0,03	0,1	2,9	0,6	1,2
Total	227	324,3	100,0	20,13	100,0	454,3	100,0	300

Fonte: DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001.

Os fragmentos pequenos e isolados da CUASO, “em um grau provavelmente crescente ao longo do tempo”, tendem a um empobrecimento (CERSÓSIMO; MANTOVANI; DISLICH, 2001, p. 331). A conexão com áreas mais conservadas pode melhorar ou tornar viável a manutenção de fragmentos com histórico de perturbação antrópica, que é a propriedade dominante das manchas de habitat na paisagem da RMSP (FORMAN; GODRON, 1986; RAIMUNDO, 2006; RIBEIRO et al., 2009; SILVA, 2013).

Nas planícies de inundação da RMSP ocorriam formações herbáceas abertas e florestais, com espécies arbóreas adaptadas à falta de oxigênio na Floresta de Várzea e Paludosa. As espécies se estabeleciam em condições pedológicas de encharcamento temporário (Floresta de Várzea) ou permanente (Floresta Paludosa) (SÃO PAULO, 2017a).

As seres pioneiras das florestas de Várzea e Paludosa são formadas “por espécies herbáceas de pequeno porte, com reprodução vegetativa [...] sem estratificação, assemelhando-se a campos naturais”. A flora ruderal, observada nos levantamentos da Área de Proteção Ambiental Várzea do Tietê (APAVRT), apresentou espécies de *Cyperaceae*: *Cyperus brevifolius* (junquinho), *Cyperus distant* e *Cyperus luzulae*; *Juncaceae*: *Juncus microcephalus*; e *Poacea*, *Echinochloa crusgalli* (capim-arroz) (SÃO PAULO, 2017a).

Nas seres primárias se destacaram espécies exóticas de *Typhaceae*: a taboa *Typha angustifolia*; *Cyperaceae*: o tiriricão-do-brejo *Fuirena umbellata*, o papiro *Cyperus giganteus*; *Zingiberaceae*: o lírio-do-brejo *Hedychium coronarium*; e as nativas de *Alismataceae*: os chapéus-de-couro *Echinodorus grandiflorus* e *Sagittaria montevidensis* (SÃO PAULO, 2017a).

A fisionomia registrada das seres secundárias iniciais, médias e tardias é estratificada, com indivíduos arbóreos das famílias *Anacardiaceae*: o peito-de-pomba *Tapirira guianensis*; *Fabaceae*: o suinã *Erythrina speciosa*, o maricá *Mimosa bimucronata*, o ingá-ferradura *Inga sessilis* e o ingá-feijão *Inga marginata*; *Lauraceae*: a canela-do-brejo *Nectandra puberula*; *Magnoliaceae*: a pinha-do-brejo ou baguaçu *Talauma ovata*; *Clusiaceae*: *Symphonia globulifera*; *Euphorbiaceae*: o sangra-d'água *Croton urucurana* (SÃO PAULO, 2017a).

O reflorestamento com espécies do gênero *Eucalyptus* — *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus saligna* — cobrem extensas áreas da RMSP. O uso comercial atende principalmente a produção de papel e celulose por indústrias como a

empresa Suzano Papel e Celulose (RAIMUNDO, 2006; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

Os municípios onde os reflorestamentos mais se destacam na paisagem são Caieiras, Salesópolis, Pirapora do Bom Jesus, Cajamar, Franco da Rocha, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Biritiba-Mirim, Suzano, Santana de Parnaíba e Mogi das Cruzes (Figura 36) (RAIMUNDO, 2006; SILVA, 2013).

Apesar das colinas e vales, do Planalto Paulistano, serem tipicamente florestais, podem comportar “indivíduos esparsos de araucárias” e “manchas de cerrados residuais” (AB’SÁBER, 2010e, p. 1). Um testemunho desse mosaico é o Parque Estadual do Juquery, no Município de Franco da Rocha, com fisionomia de Campo-Sujo-de-Cerrado (Figura 36) (DELABIO, 2014; IBGE, 2012; RAIMUNDO, 2006; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

As ruas e avenidas, do Município de São Paulo, são arborizadas predominantemente por 15 espécies de árvores. Destacando-se as exóticas tipuana (*Tipuana tipu*), falsa seringueira (*Ficus elástica*), figueira benjamina (*Ficus microcarpa*) e a pata de vaca (*Bauhinia blakeana*). Dentre as nativas o ipê amarelo (*Tabebuia ochracea*), o jacarandá (*Jacarandá macranta* e *Jacarandá puberula*), o manacá-da-serra (*Tibouchina mutabilis*), a paineira (*Chorisia speciosa*) e a quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) (FURLAN, 2004).

Os tipos de solos que sustentam as formações vegetais da RMSP desenvolveram-se em relevo plano, ondulado e fortemente ondulado nas planícies de inundação, terraços, colinas, morrotes, morros e vertentes. São solos distróficos (saturação por bases < 50%), pobres em nutrientes, com textura média argilosa e argilosa (EMBRAPA, 1999; SÃO PAULO, 2017a; OLIVEIRA, 1999).

Os setores da paisagem com Floresta Ombrófila Densa estão sobre Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-Amarelos. As classes identificadas podem estar associadas de duas maneiras — Cambissolos Háplicos com Latossolos Vermelho-Amarelos ou com Argissolos Vermelho-Amarelos. A mancha de Campo-Sujo-de-Cerrado, em Franco da Rocha, ocorre em área de Cambissolos Háplicos (AB’SÁBER, 2010e; BARRETTO; CATHARINO, 2015; EMBRAPA, 1999; IBGE, 2012; SÃO PAULO, 2017a; OLIVEIRA, 1999).

A Floresta de Várzea e a Floresta Paludosa se desenvolvem em faixas alongadas, estreitas e planas, nas margens dos rios em Neossolos Flúvicos,

Organossolos Mésicos e Organossolos Háplicos. Também há associações de Organossolos Mésicos e Háplicos com Gleissolos Melanozêmicos ou Gleissolos Háplicos. Trechos restritos da paisagem, onde as planícies de inundação estão conservadas, foram verificados entre Salesópolis e Mogi das Cruzes, nas margens do Rio Paraibuna até a confluência com o Tietê e entre os reservatórios de Jundiaí e do Taiaçupeba (EMBRAPA, 1999; SÃO PAULO, 2017a; OLIVEIRA, 1999).

3.1.4 Caracterização Antrópica do Uso da Terra

O uso da terra estabelecido pelas atividades antrópicas está setorizado em dois grandes compartimentos na RMSP: a área urbanizada e o cinturão verde (Figura 36) (BUENO, 2013; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

A área urbanizada (urbano consolidado) concentra a população (Figura 37; 38) e as atividades econômicas. Os usos residencial, industrial, comercial, de serviços (educação, saúde, cultura, assistência social, administração pública), lazer, cultura e transporte (sistema viário) que são realizados em superfícies construídas (estabelecimentos e instalações) com concreto, asfalto, metal, plástico e vidro (SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013; NOVO, 2008; JENSEN, 2009).

A transição entre a área urbanizada e o cinturão verde é marcada na paisagem pela ocupação esparsa. Definida por áreas com baixa densidade e menor dimensão das construções, geralmente desagregada do conjunto urbano, das unidades produtivas rurais (hortifrutigranjeira, mineração, silvicultura e pecuária) e da vegetação nativa (SILVA, 2013).

Os usos associados à ocupação esparsa são bastante heterogêneos, desenvolvidos em estruturas de condomínios residenciais de renda média e alta, loteamentos precários na periferia dos municípios e em sítios e chácaras residenciais ou de lazer. Esse padrão avança principalmente sobre unidades produtivas rurais, áreas legalmente protegidas ou com alta fragilidade ambiental (FURLAN, 2004; SILVA, 2013).

Figura 36 – Uso e Ocupação da RMSP produzido pela EMPLASA, em 2002. As classes de uso e ocupação foram representadas por 0,25 ha (escala aproximada de 1:250.000). A Área Urbanizada tem um padrão homogêneo, aproximadamente no centro da paisagem, enquanto o cinturão verde é heterogêneo e combina complexas funções de produção e conservação em áreas de dimensões muito variadas (pequenos módulos agrícolas à grandes contínuos florestais).

Fonte: ANA, 2017; AUTOR, 2017; EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002.

Figura 37 – População concentrada no Município de São Paulo e nos municípios fronteiriços das sub-regiões oeste, leste e sudeste.

Fonte: AUTOR, 2017; EMPLASA, 2017; IBGE, 2017d.

Figura 38 – Observa-se o predomínio da população urbana na RMSP, com índice médio de 98,93%. Os maiores percentuais estão na circunvizinhança de São Paulo.

Fonte: AUTOR, 2017; EMPLASA, 2017; IBGE, 2017d.

No cinturão verde são desenvolvidas atividades de mineração, exploração florestal, silvicultura, agricultura e criação de animais (Figura 36). Os municípios de Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano concentram a produção e o PIB deste setor primário (REIS, 2016; SÃO PAULO, 2017a).

A produção agrícola e a exploração de animais são realizadas em pequenas propriedades, com módulos entre 2 e 10 ha. O cinturão verde destaca-se no mercado pela participação de hortifrutigranjeiros (Figura 39), produzidos em alguns módulos exclusivamente por mão-de-obra familiar. Os principais cultivos são de olericultura (legumes), fruticultura de clima temperado, floricultura e cogumelos comestíveis (LUPA, 2017; REIS, 2016).

Figura 39 – Participação da produção agrícola da RMSP no mercado estadual e nacional.

Produtos Hortícolas	Participação em % (São Paulo)	Participação em % (Brasil)
Alface	48,20%	18,00%
Agrião	68,20%	-
Hortaliças em geral (170 itens)	45,00%	-
Cogumelos comestíveis	68,40%	55,76%
Caqui	48,17%	20,22%
Nêspera	85,18%	40,92%
Orquídeas	89,56%	78,00%
Flores	14,50%	-

Fonte: REIS, 2016.

Quanto à produção de animais destaque para a avicultura, nos municípios de Mogi das Cruzes, Biritiba Mirim e Suzano; a bovinocultura mista (corte e leite), em Salesópolis; a codornicultura, em Mogi das Cruzes e São Paulo; e a equinocultura, em Mogi das Cruzes e Guararema. É importante fazer a ressalva que em número de unidades de produção agropecuária e do total produzido o domínio absoluto é da avicultura de corte e para ovos (LUPA, 2017).

Silviculturas de eucaliptos e pinus são cultivadas na RMSP (Figura 36). Mas a importância da monocultura de eucalipto na paisagem é muito expressiva na comparação individual com qualquer produto, mesmo dos gêneros alimentares. O

número de unidades produtivas e a área total produzida por hectare de eucalipto superam os demais cultivos. Nos municípios de Salesópolis e Mogi das Cruzes, respectivamente, registram-se o maior número de unidades produtivas (464 e 348) e do total de área em produção (7794,2 ha e 5609 ha) de eucalipto (SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013; LUPA, 2017).

O uso da terra para o abastecimento alimentar e reflorestamento comercial da RMSP também representa uma ameaça à conservação da mata nativa. A expansão das áreas produtivas com a retirada da vegetação, queimadas, pastagens e a invasão de espécies exóticas interferem nos atributos (funcionalidade, complexidade das relações *input-output*, estado do sistema, fechamento do sistema, antecipação) dos fragmentos com a consequente extinção do ecossistema ou perda da sua qualidade ambiental, inclusive nas áreas protegidas por Unidades de Conservação (UCs), onde há uma barreira efetiva, com conflitos permanentes na zona de amortecimento (CAMPOS, 2013; CHRISTOFOLLETTI, 1979, 2002; FURLAN, 2004; SÃO PAULO, 2017a).

As atividades de mineração são muito importantes para a RMSP. Visto que seus empreendimentos complementam a cadeia produtiva das indústrias da construção civil, um setor imprescindível para a manutenção e crescimento urbano-industrial da metrópole (BITAR, 1997; CUCHIERATO, 2000; DNPM, 2017).

A RMSP é a maior produtora e consumidora de agregados, materiais sem forma e volume definidos para construção civil, do Estado de São Paulo. Destacam-se as produções de rocha (brita e cascalho ou pedrisco), areia, caulim e argila resultantes de um processo produtivo que compreende as etapas gerais de “decapeamento, lavra, beneficiamento, disposição de estéreis e rejeitos, estocagem, transporte dos produtos e operações auxiliares” (BITAR, 1997, p. 4; CUCHIERATO, 2000; DNPM, 2017).

Considerando a produção bruta de agregado por município da RMSP, as maiores quantidades (toneladas) de brita e cascalho foram produzidas em São Paulo, Barueri e Santa Isabel (Tabela 1); de areia em Mogi das Cruzes (Tabela 2); de argilas plásticas em Mogi das Cruzes; de argilas refratárias em Biritiba-Mirim e de Caulim em Mogi das Cruzes, Suzano e São Paulo (SÃO PAULO, 2017a; DNPM, 2017).

Tabela 1 – Principais Municípios Paulistas Produtores de Brita e Cascalho – 2010 a 2014.

Substância/ Municípios	Produção Bruta de Brita e Cascalho (t)				
	2010	2011	2012	2013	2014
São Paulo	7.816.367	7.983.166	8.327.251	8.185.545	7.759.060
Barueri	6.222.100	3.499.215	4.005.689	4.899.838	4.858.046
Santa Isabel	4.466.047	4.508.597	5.182.610	4.355.319	3.850.387
Guarulhos	3.338.696	2.958.682	2.937.891	3.244.394	2.557.580
Mogi das Cruzes	2.674.629	2.217.652	2.737.484	3.317.829	3.140.831
Icém	1.728.746	2.419.242	5.879.337	1.536.000	2.226.957
Cajamar	2.790.723	3.304.163	3.128.369	2.551.083	1.873.572
Embu das Artes	2.562.443	2.302.599	2.463.088	2.347.116	2.178.555
Santos	2.448.617	2.812.757	1.952.074	2.056.761	2.211.008
Santana de Parnaíba	2.404.351	1.122.722	1.233.152	2.874.049	3.616.697

Fonte: DNPM, 2017.

Tabela 2 – Principais Municípios Paulistas Produtores de Areia – 2010 a 2014.

Substância/ Municípios	Produção de Areia (t)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Bofete	1.672.699	2.101.705	2.425.688	2.233.018	2.435.063
Mogi das Cruzes	2.069.430	2.308.477	2.211.842	2.055.595	1.639.674
Anhembi	1.389.582	1.615.101	1.320.922	1.543.611	1.334.915
Tremembé	1.677.889	1.653.230	1.293.330	954.586	1.156.658
Leme	1.064.832	1.337.458	1.268.600	1.387.482	1.341.426
Caçapava	963.353	815.373	979.122	1.157.697	1.390.174
Registro	1.150.069	1.073.709	1.043.656	962.510	1.042.216
Roseira	1.069.307	1.273.217	1.207.758	978.592	477.399
Mogi Guaçu	403.539	1.117.529	881.331	1.003.271	1.321.653
Presidente Epitácio	788.910	726.165	847.407	1.188.032	1.147.301

Fonte: DNPM, 2017.

Há um consenso na literatura que a mineração é a atividade antrópica de nível máximo de degradação ou perturbação (alterações antrópicas negativas) das paisagens naturais (suporte e cobertura). As degradações ambientais mais frequentes nos componentes da paisagem são a retirada completa da cobertura vegetal e do substrato fonte da matéria-prima (solo e rocha), com a utilização de

explosivos, jatos d'água de alta pressão, dragas, bombas centrífuga, caminhões, tratores e pás-carregadoras (BITAR, 1997; SÃO PAULO, 2017a).

O desmonte das formas de relevo modifica os processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos. As reconfigurações da morfologia fluvial tendem a aumentar a turbidez e a carga de sedimentos em suspensão que é depositada nos rios, promovendo assoreamentos (Figura 40), e interferindo na dinâmica das águas subterrâneas com a interceptação dos níveis freáticos mais rasos (lençóis freáticos) e o rebaixamento ou elevação do nível de base local. As inundações a jusante tornam-se frequentes, desestabilizando as margens e alterando as feições dos canais fluviais (BITAR, 1997; CUCHIERATO, 2000; SÃO PAULO, 2017a).

Figura 40 – Assoreamento em córrego de Embu-Guaçu, na RMSP, a jusante de uma mina desativa de caulim.

Fonte: BITAR, 1997.

Ao longo das encostas a instabilidade promove a aceleração de processos erosivos com constantes escorregamentos e quedas de matacões. As partículas das cavas secas são lançadas no ar, como materiais em suspensão, e nas cavas úmidas

são acumulados como rejeitos em lagos (Figura 41), formados em depressões abandonadas, ou descartados na drenagem local (BITAR, 1997; CUCHIERATO, 2000).

Apesar da exigência de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (Prad) para minas ativas e desativadas, as propostas antecipam a impossibilidade de recuperação (condições de uso preexistentes) dessas áreas, em função do nível de degradação próprios da atividade e dos custos de execução. Os projetos, no geral, oferecem soluções quanto à estabilização do ambiente com usos potencialmente sustentáveis. Na prática, as propostas implementadas por empresas e o poder público são aterros para resíduos de materiais de origem diversa (lixo doméstico, industrial e entulho); revegetação com espécies nativas; reflorestamento com espécies comerciais exóticas (Figura 41), principalmente eucaliptos e pinus; a construção de locais para abrigar indústrias, comércios, espaços de cultura, lazer, recreação e esportes comunitários; e loteamentos habitacionais voltados para a população de baixa renda (BITAR, 1997; SÃO PAULO, 2017a).

Figura 41 – Plantio de gramíneas para estabilizar o talude de uma barragem de rejeitos, em Guarulhos, na RMSP.

Fonte: BITAR, 1997.

Um exemplo de projeto com viés de conservação, executado para recuperar 14 km² de áreas degradadas, é o Parque Ecológico do Tietê (PET) nos municípios de Barueri, Santana de Parnaíba e São Paulo criado em 1976 a partir de cavas abandonadas de extração de areia. Foram recuperadas parcialmente a vegetação e

a fauna da várzea do rio Tietê, e construídas estruturas para proporcionar atividades contemplativas, culturais, educacionais, recreativas, esportivas e de lazer (BITAR, 1997; DAEE, 2017b; SÃO PAULO, 2017a).

Os recursos florestais diretamente explorados na RMSP são a extração de madeira e a própria área de ocorrência (mancha de habitat) dos remanescentes para a abertura de loteamentos ou expansão de áreas produtivas. A estratégia de desmatamento é dissimulada, com o seccionamento seletivo de trechos pequenos e de forma constante ao longo tempo, criando uma continuidade com o uso antrópico já estabelecido. Os fragmentos sem qualquer tipo de sistema protetivo, localizados em encostas do embasamento e em regiões mais distantes dos centros de serviços e trabalho são os alvos preferenciais (ALVES FILHO; CAMPOS; FURLAN, 2015; BUENO, 2013; RAIMUNDO, 2006; SÃO PAULO, 2017b, 2017c; SILVA, 2013; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009).

3.1.5 Amostra da Área de Estudo

A RMSP é interessante para o desenvolvimento de trabalhos com temas associados à Ecologia da Paisagem porque o uso e cobertura da terra, em seu território, é fonte de conflitos frequentes derivados dos diferentes modos de produção e da imposição e necessidade de conservar os seus serviços ecossistêmicos (BUENO, 2013; SÃO PAULO, 2017a; RAIMUNDO, 2006). Por meio das análises da paisagem é possível alcançar avanços no planejamento e na gestão promovendo ajustes na dinâmica, que é controlada principalmente por forças antrópicas, diminuindo o ritmo ou evitando a degradação ambiental, a escassez de recursos e as crises hídricas e de saúde pública (FURLAN, 2004; LUZ, 2010, 2015; RODRIGUES, 2005, 2015).

A melhor abordagem para analisar a paisagem, considerando as nossas bases teórico-conceituais, é identificar os padrões espaciais que condicionam a repetição do gradiente de heterogeneidade da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; MCGARIGAL, 2015; RAMEZANI et al., 2013; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). Como há uma marcante compartimentação entre a área urbanizada e o cinturão verde, a amostra selecionada tem como objetivo descrever um padrão típico da paisagem no interior

de cada compartimento e na transição estabelecida entre eles (BUENO, 2013; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

A Amostra da Paisagem da RMSP (APRMSP) está quase inteiramente contida no Município de São Paulo (Figura 42). Uma borda entre 100 e 500 m avança sobre os municípios de Osasco, Taboão da Serra, Embu das Artes, Itapequerica da Serra e Embu-Guaçu para facilitar a delimitação das unidades de paisagem (evitar interrupções abruptas) e garantir uma faixa de segurança para eventuais ajustes no mapeamento e aplicação das métricas de estrutura da paisagem (MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995).

Figura 42 – Localização da amostra da área de estudo. A Amostra da Paisagem da RMSP (APRMSP) tem 25.348,67 ha.

Fonte: AUTOR, 2017; EMPLASA, 2002, 2017; GALVÃO, 2011.

Na APRMSP estão destacados três setores correlacionados (Figura 43) com a compartimentação da paisagem em: área urbanizada, transição e cinturão verde. O setor 1 é uma área urbanizada contínua, onde a estrutura da paisagem é definida pela ruptura da matriz urbana pelas unidades de fragmento florestal, campo, corpo d'água (bacia do rio Pinheiros) e solo exposto (Figura 36; 43) (BUENO, 2013; SILVA, 2013; EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002).

Figura 43 – Os diferentes setores da APRMSP e a Represa Guarapiranga definidos na imagem RapidEye. Os Fragmentos de Floresta Ombrófila Densa e a Área Urbanizada foram extraídos dos mapeamentos do Instituto Florestal (2009) e da EMPLASA (2002).

Fonte: AUTOR, 2017; BRASIL, 2017; GEO CATÁLOGO, 2015; GOOGLE Earth, 2018; EMPLASA, 2002; SCCON, 2017; SÃO PAULO, 2017e.

O setor 2 está localizado entre o limite norte da área de proteção aos mananciais e as margens sul da represa Guarapiranga (Figura 43). Trata-se de um setor de nítida oposição entre o avanço da urbanização, de alto e baixo padrão, e a manutenção dos serviços ecossistêmicos de abastecimento hídrico, produção de alimentos, recreação e de conservação dos fragmentos florestais (Figura 36) (BUENO, 2013; FURLAN, 2004; GALVÃO, 2011; MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009; RODRIGUES, 2005, 2015; SÃO PAULO, 2017b, 2017c; SILVA, 2005; SILVA, 2013).

No setor 3 predominam as unidades de paisagem associadas ao cinturão verde, compondo a estrutura mais heterogênea da paisagem. Destacam-se os grandes fragmentos florestais, com trechos conectados nas áreas de influência das UCs, e o cultivo de eucalipto ou pinus (Figura 36; 43). A represa, delimitada no setor 2, forma uma barreira em semiarco norte-oeste que dificulta o avanço da urbanização, mais esparsa e nitidamente menos expressiva que nos outros dois setores, e isola os maiores fragmentos contínuos do conjunto da APRMSP (BUENO, 2013; SILVA, 2013; EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002).

A dinâmica da paisagem na APRMSP é controlada pelos condicionantes gerais da RMSP, já descritos no desenvolvimento do texto. Os componentes geológicos, geomorfológicos e climáticos estão associados em um mesmo padrão geral de ação. Os depósitos da Formação São Paulo, Resende e os sedimentos quaternários, que formam a Bacia Sedimentar de São Paulo, são mais desenvolvidos no centro-norte da amostra selecionada (RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; BUENO, 2013). Os interflúvios, colinas dissecadas e os morros altos sobre o embasamento cristalino são característicos no sul e oeste desta paisagem (AB'SABER, 2010a, 2010b; BUENO, 2013; MANFRÉ, 2015; MANFRÉ; NÓBREGA; QUINTANILHA, 2014; LUZ, 2010; RICCOMINI; SANT'ANNA; FERRARI, 2005; SÃO PAULO, 2017b; 2017c; SILVA, 2013), onde as altitudes são mais elevadas, acima de 800 m, e estão associadas às frequentes instabilidades dos ventos da brisa marinha que definem um gradiente de precipitação concentrado na fachada sul com redução gradual em direção ao norte (AB'SABER, 2010a, 2010b, BUENO, 2013; HAAS, 2002; PEREIRA FILHO et al., 2004; SÃO PAULO, 2008a, 2017a).

O relevo da Bacia Sedimentar de São Paulo, os componentes socioeconômicos e as políticas públicas explicam a urbanização concentrada nos setores 1 e 2, que reúnem a maior densidade viária e de área construída, enquanto

no setor 3, os componentes naturais mantiveram grande relevância na dinâmica da paisagem, devido às limitações que a altitude e a declividade impõem à ocupação e ao conjunto de Unidades de Conservação (UCs), que fornecem proteção às funções de abastecimento hídrico, produção de alimentos e de conservação ambiental, no cinturão verde (AB'SÁBER, 2010a, 2010b; ALMEIDA; 1974; ANA, 2017; BRASIL, 2017; BUENO, 2013; IBGE, 1998; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013).

O uso antrópico na APRMSP conduziu a uma intensa perda de habitat e fragmentação, limitando a ocorrência de remanescentes grandes e vizinhos ao setor 2 e 3. A área urbanizada e a represa Guarapiranga, construída entre 1906 e 1908, são perturbações consolidadas e funcionam como barreiras efetivas permanentes. Um padrão frequente em toda a RMSP e que deve ser considerado nas estratégias de conservação, principalmente ao lidar com a conectividade da paisagem (BARRETTO; CATHARINO, 2015; BUENO, 2013; DISLICH; CERSÓSIMO; MANTOVANI, 2001; FURLAN, 2004; RIBEIRO et al., 2009; SÃO PAULO, 2008b; SILVA, 2005; SILVA, 2013).

A chave de identificação (Tabela 3; 4) das Unidades de paisagem (UPs) foi elaborada por meio do conhecimento e informações extraídas da caracterização da área de estudo e de referências metodológicas de Sensoriamento Remoto. As classes da legenda e as amostras de treinamento são fundamentadas pelas decisões estabelecidas nessa etapa da pesquisa. A ênfase são os dados primários correlacionados com o uso e cobertura da terra, sendo consideradas somente as categorias obtidas diretamente por técnicas de interpretação visual sem inferências ou informações suplementares quanto às sobreposições de usos ou aos processos que deram origem às coberturas identificadas. Como exemplo a categoria Solo Exposto (SE) pode ter origem em uma antiga cava de mineração, está associado a um futuro aterro de resíduos ou a um solo preparado para cultivo (ANDERSON et al., 1983; CONGALTON; GREEN, 2009; JENSEN, 2009; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011; STORY; CONGALTON, 1986).

Tabela 3 – Chave de Identificação das Unidades de Paisagem (UPs) com exemplos que descrevem AU, SE, CP e RF nas composições: verde, vermelho e infravermelho próximo (G-R-NIR); vermelho, borda do vermelho e infravermelho próximo (R-ER-NIR); e azul, verde e vermelho (B-G-R) – 2018.

Unidade	Elementos de Interpretação	Exemplos das UPs		
		G-R-NIR (2-3-5)	G-ER-NIR (2-4-5)	B-G-R (1-2-3)
Área Urbanizada (AU)	Tom e cor: tons claros de cinza e amarelo; associados com branco, laranja e vermelho intermediário. Forma: linear, retangular e quadrática. Textura: intermediária e salpicada. Padrão: sistemático serrilhado e em fileiras.
Solo Exposto (SE)	Tom e cor: tons claros individuais de cinza, vermelho e amarelo; ou associados com branco e marrom intermediário. Forma: amorfa; ou polígono irregular e curvilíneo. Textura: lisa e intermediária. Padrão: randômico.
Campo (CP)	Tom e cor: tons claros de vermelho, laranja e verde; associados com vermelho, laranja e verde intermediário. Forma: amorfa. Textura: lisa salpicada. Padrão: randômico.
Reflorestamento (RF)	Tom e cor: vermelho, laranja e verde escuro. Forma: linear e retangular. Textura: lisa, intermediária ou salpicada. Padrão: sistemático.

Fonte: AUTOR, 2018; ANDERSON et al., 1983; BUENO, 2013; CONGALTON, 2010; CONGALTON; GREEN, 2009; EMPLASA, 2002; FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009; SILVA, 2013; SÃO PAULO, 2002, 2017a, 2017e.

Tabela 4 – Chave de Identificação das Unidades de Paisagem (UPs) com exemplos que descrevem FL, AD e AG nas composições: verde, vermelho e infravermelho próximo (G-R-NIR); vermelho, borda do vermelho e infravermelho próximo (R-ER-NIR); e azul, verde e vermelho (B-G-R) – 2018.

Unidade	Elementos de Interpretação	Exemplos dos Alvos		
		G-R-NIR (2-3-5)	G-ER-NIR (2-4-5)	B-G-R (1-2-3)
Floresta (FL)	Tom e cor: vermelho, laranja e verde intermediário. Forma: amorfa. Textura: grosseira ou intermediária. Padrão: randômico.
Área Úmida (AD)	Tom e cor: tons claros individuais de vermelho, magenta, laranja e verde; ou associados com marrom intermediário e escuro. Forma: amorfa. Textura: lisa ou mosqueada. Padrão: sistemático.
Água (AG)	Tom e cor: preto e azul escuro; ou tons claros de cinza, azul e verde. Forma: amorfa ou linear. Textura: lisa. Padrão: sistemático.

Fonte: AUTOR, 2018; ANDERSON et al., 1983; BUENO, 2013; CONGALTON, 2010; CONGALTON; GREEN, 2009; EMPLASA, 2002; FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009; SILVA, 2013; SÃO PAULO, 2002, 2017a, 2017e.

A unidade de Área Urbanizada (AU) representa as estruturas construídas para habitações, indústria, comércios, serviços e transporte. Essa categoria poderá incluir também grandes estruturas utilizadas nos módulos agrícolas e de exploração animal (ANDERSON et al., 1983; BUENO, 2013; EMPLASA, 2002; JENSEN, 2009; LUPA, 2017; REIS, 2016; SÃO PAULO, 2002, 2017a; SILVA, 2013). As plantas industriais, vias pavimentadas de acesso e escoamento da produção, os abrigos para engorda de animais e armazenamento de insumos e produtos são

componentes que podem ter tamanho e textura que possibilitem a sua individualização como Área Urbanizada (AU) (ANDERSON et al., 1983; JENSEN, 2009).

O Solo Exposto (SE) é consequência da remoção da cobertura vegetal. Na APRMSP está associada à remobilização de terra por ação antrópica para construção, cultivo e mineração. Predominam formas poligonais, aproximadamente regulares, com face reta principalmente no contato com a unidade de Área Urbanizada (AU) (EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002).

A unidade de Campo (CP) é caracterizada por vegetação herbácea, aproximadamente contínua, com presença eventual de árvores, arbustos e subarbustos. As espécies podem ser nativas, quando fazem parte da sucessão ecológica nas seres pioneiras das florestas de Várzea e Paludosa, exóticas ou invasoras, relacionadas à expansão das atividades antrópicas, como a introdução de gramíneas para jardinagem e pastagem. Os módulos hortifrutigranjeiros perenes ou anuais com plantações de hortaliças, flores e frutas com fisionomia herbáceo-arbustiva também foram classificados como campo (EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002, 2017a, 2017e).

O Reflorestamento (RF) com eucalipto ou pinus é cultivado em áreas expressivas do setor 3, principalmente para propósitos comerciais, e no setor 1 para arborizações de terrenos particulares, vias e praças públicas (Figura 36; 43). Algumas características relevantes para sua identificação, na APRMSP, surgem nos contatos com a unidade de Floresta (FL), nos ambientes mais conservados das APMs, com a ruptura das feições heterogêneas e o estabelecimento de padrões retangulares sistemáticos homogêneos e contínuos praticados pela silvicultura comercial. As interrupções associadas ao corte de árvores e conversões de uso, são frequentes nas áreas de Reflorestamento (RF) (CHAZDON et al., 2016; EMLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002, 2017a, 2017e).

A unidade de Floresta (FL) é constituída essencialmente por indivíduos arbóreos do tipo predominante de Floresta Ombrófila Densa. Entretanto, o padrão na APRMSP é definido pelo nível de interferência das atividades antrópicas, que geraram fragmentos florestais com vegetação exótica na matriz da Área Urbanizada (AU), que é contida pelas UCs do cinturão verde (Figura 43). As fisionomias Floresta de Várzea e Floresta Paludosa, nas planícies de inundação, também foram

registradas nessa unidade (FURLAN, 2004; IBGE, 2012; METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; SÃO PAULO, 2017a, 2008b; SILVA, 2013).

Optamos por esse conceito mais abrangente de floresta, que reúne espécies nativas e exóticas em diferentes proporções, considerando a propriedade da terra, o fornecimento de serviços ecossistêmicos e a funcionalidade da paisagem. A maioria da área de cobertura de Floresta (FL) é regulamentada ou diretamente gerida pelo Poder Público Estadual e Municipal, por serem legalmente protegidas ou estarem em praças e vias públicas da Área Urbanizada (AU), o que dificulta a conversão de uso (BRASIL, 2017; EMPLASA, 2002, 2017). Mesmo fragmentos que sejam compostos apenas por espécies exóticas estão associados à manutenção de fluxos subterrâneos, recarga de níveis freáticos, conservação de setores do relevo e das propriedades dos horizontes dos solos (CHAZDON et al., 2016; RAIMUNDO, 2006). Nós reconhecemos a importância das espécies nativas para a conservação da biodiversidade, entretanto, fragmentos florestais, cercas vivas ou mesmo árvores isoladas melhoram a funcionalidade e contribuem para restauração da paisagem (CHAZDON et al., 2016).

A Área Úmida (AD) está concentrada no setor 3, nas planícies de inundação das bacias hidrográficas da represa Guarapiranga e em solos preparados para cultivo com sistema de drenagem artificial. A referência da classificação é a vegetação herbácea aproximadamente contínua, similar à unidade de Campo (CP) sem a presença de árvores e arbustos, ou interrompida por manchas pretas ou marrons exibindo um padrão mosqueado (ANA, 2017; EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002, 2017a).

A unidade de Água (AG) compreende os canais, rios, represas e as áreas do terreno com acúmulo de água temporário ou permanente, nas planícies de inundação e margens da represa. Essa componente está vinculada à represa Guarapiranga, ao rio Pinheiros e seus afluentes (ANA, 2017; EMPLASA, 2002; SÃO PAULO, 2002, 2017a).

Nós realizamos a classificação observando variações visuais dos alvos (UPs) em três imagens coloridas geradas pelas bandas ou canais espectrais das imagens RapidEye. A composição falsa-cor G-R-NIR (2-3-5) (Tabela 3; 4) nos filtros azul, verde e vermelho destacou com tons de vermelho o brilho dos componentes das unidades Floresta (FL), Reflorestamento (RF) e Campo (CP) facilitando a delimitação dessas unidades em contraste com a Área Urbanizada (AU), em branco

e tons claros de cinza e laranja, a Água (AG), totalmente preta ou com tonalidade escura, e a Área Úmida (AD) nas cores vermelho, rosa e marrom, geralmente combinadas (FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009; NOVO, 2008).

A combinação G-ER-NIR (2-4-5) nos filtros azul, vermelho e verde destacou com branco e tons de cinza e amarelo o brilho das unidades Área Urbanizada (AU) e Solo Exposto (SE). A Área Úmida (AD) é visualizada na cor laranja e tons de marrom. As componentes diretamente relacionadas com a vegetação — Floresta (FL), Reflorestamento (RF) e Campo (CP) — são destacadas em diferentes tonalidades de laranja (FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009; NOVO, 2008).

Os sedimentos em suspensão e organismos na superfície da água produzem reflexão no infravermelho próximo e na borda do vermelho (G-R-NIR e R-ER-NIR). Nos locais onde Água (AG) é formada por tais constituintes as cores vermelha e laranja, características dos componentes vegetais predominam sobre o preto ou a tonalidade escura e formam a Área Úmida (AD) (JENSEN, 2009).

A composição B-G-R (1-2-3) associa as bandas aos seus respectivos filtros de cores primárias azul, verde e vermelho. O resultado é a composição colorida normal ou natural que facilita a diferenciação entre as categorias com cobertura vegetal. Diferenças nas tonalidades de verde claro e escuro são notadas entre o Reflorestamento (RF) e a Floresta (FL). Outra vantagem dessa combinação é facilitar a separação das unidades Área Urbanizada (AU) e Solo Exposto (SE), já que, é possível identificar as construções por combinações de cinza e laranja em oposição às cores individuais de amarelo, laranja ou cinza do Solo Exposto (SE) (JENSEN, 2009).

Além da resolução espectral, que permite avaliar diretamente cor e tonalidade, nós associamos outros elementos de interpretação visual de imagens, como: forma, textura e padrão (Tabela 3; 4) (JENSEN, 2009; FLORENZANO, 2011).

3.2 Imagens RapidEye

A missão particular RapidEye é composta por uma constelação de cinco satélites que combinam grande área de cobertura, intervalo frequente de revisita, alta resolução e capacidade multiespectral. As imagens são obtidas por sensores

idênticos com o mesmo plano de órbita e calibração (BLACKBRIDGE, 2015; EMBRAPA, 2016).

Os satélites RapidEye melhoraram as possibilidades de integração entre o Sensoriamento Remoto e a Ecologia da Paisagem. Principalmente para a obtenção de dados mais precisos sobre a cobertura vegetal em diferentes escalas e condições ambientais (POLYCHRONAKI et al., 2014; SCHUSTER, 2014).

Os mapas elaborados, por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto, fundamentam a elaboração de planos de manejo, monitoramento e gestão de Unidades de Conservação (UCs). A complexidade dos mosaicos de paisagens pode favorecer ou impor limitações para a obtenção de dados por satélite. Os desafios frequentes são os erros e a baixa precisão em áreas pouco extensas ou restritas, mosaicos com baixa variação textural e coberturas vegetais heterogêneos ou com grande variação espacial, estrutural e temporal (POLYCHRONAKI et al., 2014; SCHUSTER, 2014).

A acurácia das imagens RapidEye já foi avaliada em uma paisagem homogênea plana, com diferentes formações herbácea naturais e seminaturais, e em uma paisagem heterogênea montanhosa com arbustos, floresta de pinos, floresta, rocha exposta e formações herbácea naturais e seminaturais. A primeira área fica no oeste de Berlim, na Alemanha, e a segunda no sul de Tirol, nos Alpes italianos. Os dados foram classificados utilizando o algoritmo *Support Vector Machines* (Máquinas de Vetores Suporte) e obtiveram alta acurácia geral (> 90%) em ambos os casos analisados (POLYCHRONAKI et al., 2014; SCHUSTER, 2014).

As características das imagens (Tabela 5; 6), os testes de acurácia realizados e a aquisição da cobertura completa do Brasil em imagens RapidEye, pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), geram oportunidades para os trabalhos científicos e técnicos. Avanços poderão ser alcançados na classificação automática de imagens, formadas por unidades de Floresta (FL), Campo (CP) e Reflorestamento (RF) em ambiente tropical. Mapeamentos mais precisos e em escalas mais detalhadas, obtidos de forma mais rápida, contribuirão consideravelmente com ações de monitoramento interanual e a gestão das Unidades de Conservação (UCs) (BLACKBRIDGE, 2015; EMBRAPA, 2016; GEO CATÁLOGO, 2015; POLYCHRONAKI et al., 2014; SCCON, 2017; SCHUSTER, 2014).

Tabela 5 – Características dos sistemas imageadores dos satélites RapidEye: tipo de sensor, altitude orbital, bandas espectrais e resolução espectral – 2015.

Tipo de Sensor	Altitude Orbital	Bandas Espectrais	Resolução Espectral
Imageador Multiespectral de Varredura Eletrônica (<i>Multispectral Push Broom Imager</i>)	630 km em órbita heliossíncrona	Azul (B)	440–510 nm
		Verde (G)	520–590 nm
		Vermelho (R)	630–690 nm
		Borda do vermelho (RE)	690–730 nm
		Infravermelho próximo (NIR)	760–880 nm

Fonte: BLACKBRIDGE, 2015; EMBRAPA, 2016.

Tabela 6 – Características dos sistemas imageadores dos satélites RapidEye: resolução espectral, resolução temporal, faixa imageada e resolução radiométrica – 2015.

Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada	Resolução Radiométrica
6,5 m (nadir) e 5 m para pixels ortorretificados	24 horas (fora do nadir) e 5,5 dias (no nadir)	77,25 km	12 bits

Fonte: BLACKBRIDGE, 2015; EMBRAPA, 2016.

Os objetivos da nossa pesquisa contextualizam com as potencialidades trazidas pelos satélites RapidEye. Consideramos contribuir com as aplicações das imagens em regiões tropicais num contexto de transição entre áreas densamente urbanizadas com um entorno de atividades e cobertura da terra mais esparsas, como os exemplos do cinturão verde (BUENO, 2013; SÃO PAULO, 2017a; SILVA, 2013). A análise da acurácia das paisagens classificadas e o desempenho dos classificadores também serão indicativos comparados da qualidade das imagens para separar os reflorestamentos de outros usos florestais. Um tema de interesse para a delimitação de unidades e quantificação das unidades de paisagem (METZGER, 2006; LINDENMAYER et al., 2002).

A amostra da paisagem, na área de estudo, é delimitada por 2 cenas RapidEye. Os arquivos originais, nas provisões enviadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), estão em formato *GeoTIFF* e projeção WGS84/UTM na zone 23S (Figura 44) (EMBRAPA, 2016; GEO CATÁLOGO, 2015; SCCON, 2017).

Figura 44 – Articulação das cenas RapidEye na amostra da área de estudo. Destacam-se as informações quanto à identificação, data e hora de aquisição das imagens.

Fonte: AUTOR, 2018; GEO CATÁLOGO, 2015; SCON, 2017.

3.3 Classificadores de Imagem de Satélite

Classificar uma imagem é um processo de dois estágios. Inicialmente o de reconhecer os elementos da paisagem, as classes ou categorias do sistema ou objeto real a ser representado. Tomando como exemplo a APRMSP, podemos identificar uma construção de concreto ou um conjunto de construções que formam

a Área Urbanizada (AU), dosséis contínuos das árvores da unidade Floresta (FL) e os rios, lagoas e a represa Guarapiranga classificados como Água (AG). Os rótulos Área Urbanizada (AU), Floresta (FL) e Água (AG) são a etapa final do processo de decisão, que melhor descreve a paisagem, considerando a mediação entre as referências da realidade e as propriedades espectrais da imagem (Figura 45) (CROSTA, 1999; MATHER; KOTCH, 2011; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016).

Figura 45 – A figura 1 é uma imagem de sensoriamento remoto, uma matriz formada por linhas e colunas (x, y) com os valores médios de níveis de cinza ou *digital number* (z). A figura 2 é uma imagem classificada, definida pelo agrupamento dos pixels (células) que têm valores espectrais similares. A classe “A” é definida pelos valores de brilhos 6, 7, 8 e 9 e a classe “B” por 0, 1, 2 e 3.

Fonte: CAMPBELL; WYNNE, 2011; CROSTA, 1999.

O foco do trabalho são os processos de classificação, baseados em pixel, que utilizam métodos supervisionados e não-supervisionados de reconhecimento dos alvos para obter mapas de uso e cobertura da terra que fornecem a base cartográfica para a paisagem. As variáveis analisadas são os diferentes algoritmos de classificação individuais comparados em relação à acurácia e ao desempenho. Os dados de entrada — a imagem RapidEye sem pré-processamento, a APRMSP, as amostras de treinamento, as UPs, os pontos de controle e as configurações do aplicativo ENVI® 5.3 — são fatores fixos em cada uma das imagens com objetivo de representar a estrutura da paisagem (CAMPOS et al., 2016; LILLESAND; KIEFER;

CHIPMAN, 2004; LIU et al., 2014; MATHER; KOTCH, 2011; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; RICHARDS, 2013a, 2013b).

Cada resultado gerado é um rótulo único por classe ou Unidade de Paisagem (UP), uma classificação exclusiva gerada para cada pixel. A nossa análise comparou os resultados de classificadores automáticos na APRMSP, tendo como referência (“verdade observada”) pontos de controle, extraídos do mapa elaborado por interpretação visual, para o cálculo dos valores da acurácia geral, da estatística Kappa e da técnica de votação (CAMPOS et al., 2016; CONGALTON; GREEN, 2009; STORY; CONGALTON, 1986).

A classificação supervisionada é um processo que associa o domínio espectral com amostras de identidade conhecida, pixels atribuídos às classes informadas, para classificar pixels de identidade desconhecida. As amostras de treinamento, ou classes informadas, têm o objetivo de identificar componentes (alvos) que representam o uso e a cobertura do solo para elaboração de mapas da estrutura da paisagem utilizados no diagnóstico, planejamento e gestão ambiental (CAMPBELL; WYNNE, 2011; CAMPOS, 2013; FORMAN; GODRON, 1986; LANG; BLASCHKE, 2009; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; SALINAS; RAMÓN, 2013; SALINAS, 2004; RICHARDS, 2013a).

As amostras ou dados de treinamento são valores de referência para estimar a média, a variância e a covariância dos dados espectrais (bandas da imagem). As classes nos mapas são os valores médios, a variabilidade e as inter-relações, de cada banda, que decidem a classificação dos pixels da imagem (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MATHER; KOTCH, 2011).

As amostras de treinamento exercem grande influência na acurácia da imagem classificada. Por se tratar de uma etapa crítica, é importante observar as características de tamanho, quantidade e posição das áreas que delimitam os pixels e orientam os classificadores na atribuição dos valores espectrais (CAMPBELL; WYNNE, 2011; LIU et al., 2014).

O tamanho da amostra está relacionado ao número de bandas espectrais, às propriedades estatísticas que serão estimadas e ao grau de variabilidade presente em cada classe. No caso de banda e propriedade (estimada por média ou variância) única uma amostra de 30 pixels é usualmente considerada suficiente. Para os casos multivariados o tamanho deve ser de pelo menos $30p$ pixels por classe, onde p é o número de bandas espectrais (MATHER; KOTCH, 2011;

RICHARDS, 2013a). As classes de uso e cobertura da terra devem ser representadas por 5 ou 10 áreas para garantir que as propriedades espectrais de cada categoria sejam representadas. A experiência científica indica que é melhor definir muitas pequenas áreas de treinamento ao invés de poucas grandes áreas (CAMPBELL; WYNNE, 2011).

Nós padronizamos a seleção das amostras de treinamento na APRMSP seguindo as orientações gerais associadas com os componentes das UPs, delimitados na classificação visual (Figura 59, Figura 64). Fizemos uma proporção entre o número de áreas sugeridas (10) e a quantidade de componentes em cada unidade, como forma de estimar a variabilidade das classes. Iniciamos atribuindo o valor 10 para a unidade AG, que tem o menor número de componentes (201), e aumentamos o valor segundo a proporção direta com o número de componentes (Tabela 7). A quantidade de pixel, calculado para as 5 bandas espectrais, variou entre 206 e 256 em cada área amostrada (CAMPBELL; WYNNE, 2011).

Tabela 7 – Padronização do tamanho das amostras de treinamento, relacionando a frequência acumulada dos componentes, que é igual à soma da quantidade de feições do Mapa da Classificação Visual da APRMSP – 2018.

Unidade de Paisagem (UP)	Frequência dos Componentes	Número de Áreas Amostradas
Área Urbanizada (AU)	1.106	55
Solo Exposto (SE)	814	41
Campo (CP)	2.801	139
Reflorestamento (RF)	859	43
Floresta (FL)	1.758	88
Área Úmida (AD)	324	16
Água (AG)	201	10
Total	7.863	392

Fonte: AUTOR (2018).

A distribuição das amostras deve ser uniforme (Figura 46) e evitar agrupamentos em setores específicos que não representem a variação dos valores de pixel, ao longo da imagem. Os limites e a sobreposição devem ser posicionados distante das bordas de contraste visual, para evitar que pixels sejam incorretamente incluídos. Também é importante selecionar as classes aleatoriamente ao invés de

blocos de pixels contíguos, para minimizar os efeitos da similaridade entre os pixels adjacentes das áreas (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MATHER; KOTCH, 2011; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011).

Figura 46 – O gráfico A é um histograma bimodal, indicando uma amostra heterogênea com dois grupos de pixels diferentes (dois picos). O gráfico B é um histograma uni-modal, com amostras uniformes de valores de brilho, condição adequada para fornecer uma base para classificação de uma imagem.

Fonte: CAMPBELL; WYNNE, 2011; CROSTA, 1999.

Mesmo considerando as orientações, e padronizando a seleção das amostras, podem ocorrer erros de classificação por falta de correspondência entre os alvos apontados e as classes “naturais” (agrupamentos espectrais) da imagem. As causas prováveis são a diferença entre densidades específicas (bandas espectrais e amostras de treinamento) para identificação da classe informada, defeitos da imagem (ruídos e perda de linhas) que afetam os valores digitais dos pixels e a presença de nuvens e sombras (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MATHER; KOTCH, 2011; NOVO, 2008; RICHARDS, 2013a). É importante mencionar que as sombras foram frequentes na cena 232807 (Figura 44) que forneceram as informações para o setor 1 da APRMSP (Figura 43) (GEO CATÁLOGO, 2015; SCCON, 2017).

A classificação não-supervisionada é o processo de identificação das classes “naturais” ou dos valores de brilho dos pixels nos dados espectrais da imagem. Não há entrada de amostras de identidade e todos os pixels são

desconhecidos, cabendo aos algoritmos de classificação agrupar (*cluster*) os pixels da imagem que são espectralmente similares. A similaridade dos agrupamentos frequentemente utiliza critérios (métricas) de distância mínima ou simples (Euclidiana) ou a cidade de blocos (*city block* ou *Manhattan*). A distância Euclidiana analisa distâncias entre pixels individuais (Figura 47) ao longo de cada dimensão espectral (igual ao número de bandas presentes) e a distância cidade de blocos considera somente a diferença entre os pixels acumulados em cada domínio espectral (em cada banda separada) (CAMPOS et al., 2016; CAMPBELL; WYNNE, 2011; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; RICHARDS, 2013b).

Figura 47 – Processo decisório da distância Euclidiana. A distância entre o pixel A e B é maior que entre A e C. Dessa forma A e C deverão pertencer à mesma classe e B deverá integrar outra classe.

Fonte: CAMPBELL; WYNNE, 2011.

A classificação não-supervisionada cria vários rótulos para uma mesma classe (classes únicas divididas em unidades distintas). Nós combinamos as classes espectrais geradas para padronizar a legenda e criar correspondência entre os mapas elaborados (CAMPBELL; WYNNE, 2011).

Os classificadores (algoritmos de classificação) supervisionados selecionados foram: *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM) e o *Support Vector Machines* (SVM). Além do conjunto destacado foi incluído o *Iterative Self-Organizing Data Analysis* (ISODATA), com processamento não-supervisionado (CAMPOS et al., 2016; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN,

2016; LIU et al., 2014; MATHER; KOTCH, 2011; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011; RICHARDS, 2013a, 2013b).

A seleção considerou estudos que destacavam os seus processos como os mais frequentemente empregados, a acurácia individual mais elevada desses classificadores e a diversidade decisória aplicada por cada um deles, que garante resultados diferentes únicos para cada classe (uma assinatura) (CAMPOS et al., 2016; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; LIU et al., 2014; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011; RICHARDS, 2013a, 2013b).

Os resultados exibem a APRMSP nas classificações dos mapas gerados, tendo como referências exclusivas os classificadores e a complexidade da paisagem e seus componentes (classes-alvos). Em essência foi analisado como uma paisagem, registrada pelas imagens da missão RapidEye, influencia na acurácia dos classificadores selecionados.

As classificações supervisionadas, não-supervisionadas e a extração de dados estatísticos foram elaboradas no aplicativo ENVI® 5.3. A interpretação visual das imagens e a apresentação (*layout*) dos mapas finais no ArcGIS® 10.2.2. O desenvolvimento do relatório, com os gráficos e tabelas (figuras), foi nos aplicativos Word® e Excel® (CAMPOS et al., 2016; LIU et al., 2014).

3.3.1 Mahalanobis Distance (MD)

O processo do *Mahalanobis Distance* diminui a importância dos valores dos pixels com o aumento da distância simples (Euclidiana) em relação à média e forma da distribuição da probabilidade das classes de treinamento (MATHER; KOTCH, 2011). A classificação dos pixels associa as menores distâncias relativizadas (ponderadas) pela direção espectral da matriz de covariância (Figura 48) (RICHARDS, 2013a).

A matriz de covariância, associada a uma determinada classe, contém informações a respeito da distribuição dos valores de pixels da classe, no domínio espectral da imagem. A capacidade de separação cresce com a dimensionalidade dos dados (Figura 49) (LEMOS, 2003).

Figura 48 – Modelo decisório do MD. A forma geral dos agrupamentos é uma elipsoide. Embora a distância entre o pixel e os dois centros dos agrupamentos seja a mesma, o pixel será classificado no agrupamento *a*, que tem valor mais alto de variância-covariância, tornando menor a importância da distância.

Fonte: TSO; MATHER, 2009a.

Figura 49 – No primeiro gráfico as classes diferentes são mais facilmente separadas, o vetor de valor médio e a matriz de covariância são diferentes nas bandas 1 e 2. Enquanto no segundo gráfico o vetor de valor médio é o mesmo para as classes, que serão separadas pela diferença na matriz de covariância.

Fonte: LEMOS, 2003.

O resultado da classificação do MD depende de uma estimativa razoavelmente precisa do vetor média (com valor médio) $\mathbf{m}$ e da matriz de covariância $\mathbf{C}$ para cada classe espectral. Sendo necessário um número suficiente de pixels de treinamento para cada uma das classes. Amostras insuficientes conduzem a estimativas imprecisas dos elementos da matriz de covariância $\mathbf{C}$, resultando em uma classificação pobre (LEMOS, 2003; MATHER; KOTCH, 2011).

A fórmula de base que define a decisão do MD é (MATHER; KOTCH, 2011; RICHARDS, 2013a):

$$\mathbf{D}^2 = (\mathbf{X}_m - \bar{\mathbf{X}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X}_m - \bar{\mathbf{X}})$$

Em que $\mathbf{m}$ é um índice de contagem dos elementos da amostra e $\mathbf{X}_m$ é um dos “m” elementos da amostra. O vetor de média da amostra é $\bar{\mathbf{X}}$ e $\mathbf{S}$ é a matriz de variância-covariância da amostra. A transposição (inversão de linhas e colunas da matriz) do vetor $\mathbf{X}$ é $\mathbf{X}'$, significando que o resultado de $(\mathbf{X}_m - \bar{\mathbf{X}})'$ terá orientação invertida após a execução do cálculo (MATHER; KOTCH, 2011; RICHARDS, 2013a).

O MD alcançou performance muito elevada em classificações diretas, considerando a acurácia geral (79,67%) e a estatística Kappa (0.74), frente ao ML (73,24% e 0,66) e ao SVM (68,33% e 0,60). Também foi verificada uma elevada taxa de acerto individual em classes de floresta (89,45%) e área urbana (81,25) quando comparados ao SAM (56,78% e 72,4%) (CAMPOS et al., 2016; LIU et al., 2014).

3.3.2 *Maximum Likelihood (ML)*

O classificador ML é a técnica de classificação supervisionada mais comum de dados de imagem de sensoriamento remoto, e foi o primeiro algoritmo rigoroso a ser empregado amplamente. Permanece ainda como algoritmo padrão de muitos aplicativos de geoprocessamento e referência de acurácia para outros classificadores (KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; RICHARDS, 2013a; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011).

O ML utiliza as amostras de treinamento para estimar a média, a variância (esperança de uma variável aleatória pertencer a uma classe) e as diferenças nos

valores de brilho de pixel em cada classe. As probabilidades são baseadas na pressuposição que as classes treinamento e as classes espectrais (“naturais”) têm frequência de distribuição Normal ou Gaussiana (Figura 50). Os contornos decisórios na distribuição de cada classe são simétricos ao redor da média e sua forma será circular se os desvios-padrão forem os mesmos, ou elíptica se os desvios-padrão forem diferentes nas bandas analisadas (Figura 51) (CAMPBELL; WYNNE, 2011; CROSTA, 1999; MATHER; KOTCH, 2011; RICHARDS, 2013a).

Figura 50 – Distribuição Normal ou Gaussiana. Na zona de sobreposição os valores dos pixels são comuns às duas classes, sendo aplicada a regra de decisão. Como a probabilidade é sobre todo o domínio espectral, uma classificação será produzida mesmo nas “caudas” das funções de distribuição.

Fonte: CLEVERS, 2010; RICHARDS, 2013a.

Figura 51 – Os limites de decisão do classificador ML são representados pela linha contínua na cor magenta. Os pixels (+) do espaço de atributos são indicados pelos números 1, 2, 3. Nas cores azul, vermelho e verde são indicadas as curvas de probabilidade para as classes **A**, **B** e **C**. Os números, em porcentagem, de cada curva são calculados com base nos parâmetros estatísticos das áreas de treinamento. O pixel 3 pertencer à classe **C** devido a forma das elipses.

Fonte: CROSTA, 1999; MATHER; KOTCH, 2011.

A regra de decisão indica qual a probabilidade da classe w_i pertencer ao vetor x , dos valores de brilho em cada banda de medição, descrita como $p(w_i|x)$. A probabilidade de máxima verossimilhança da classe w_i ser a classe correta, baseada nos valores estatísticos das amostras de treinamento, para o pixel na posição x , no espaço espectral, é dada por (RICHARDS, 2013a):

$$x \in w_i \text{ se } p(w_i|x)p(w_i) > p(w_j|x)p(w_j) \text{ para todos } j \neq i$$

A fórmula diz que o pixel com vetor de medição x é um elemento da classe w_i se $p(w_i|x)$ é a maior probabilidade do conjunto. O termo $p(w_i)$ é uma probabilidade

prévia, com a classe w_i podendo aparecer em qualquer lugar da imagem, já $p(w_i|x)$ são probabilidades posteriores, após a análise das amostras de treinamento, confrontando o desejável $p(w_i|x)$ e a disponibilidade de $p(x|w_i)$ (RICHARDS, 2013a).

O ML estima a forma da distribuição dos pixels e o centro médio, em cada classe, para todas as bandas da imagem. O processo de classificação será, dessa forma, orientado pela direção das diferentes covariâncias no domínio espectral (Figura 52). Esta abordagem diferencia o ML do MD, que considera a mesma covariância para todas as classes (MATHER; KOTCH, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Figura 52 – Contornos das regiões de decisão do ML, com forma elíptica ou circular, para as classes informadas. A covariância explica as diferenças nas formas e a classificação do pixel 1 na classe “Agricultura” e 2 em “Urbano”. Pela regra de probabilidade é fácil visualizar a alocação do pixel 1 no contorno de equiprobabilidade mais próximo. No caso do pixel 2 a sensibilidade da forma mais circular define a classificação. O pixel 3 tem probabilidades similares para as classes “Capoeira com Arbustos” e “Urbano”, o que tornará imprecisa sua classificação.

Fonte: CLEVERS, 2010; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004.

As análises quanto ao desempenho do ML nas classificações obtidas, por vezes, são controversas. Por ser o classificador mais utilizado e com abundantes

estudos e testes comparativos, relacionando diferentes paisagens e gerações de classificadores, são frequentes resultados indicando menor acurácia geral do ML. Entretanto, os valores da acurácia geral do ML foram superiores a 70% em quase todos os levantamentos analisados. Apesar de 85% serem a referência teórica da acurácia dos mapeamentos, na prática esse índice é a exceção, o que justifica considerar o ML como classificador muito confiável e capaz de superar o MD, o SAM, o SVM e o ISODATA. Alcançando elevados índices de acerto na identificação de floresta, área urbana e corpos d'água (CAMPOS et al., 2016; CONGALTON; GREEN, 2009; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; LIU et al., 2014; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011).

3.3.3 *Spectral Angle Mapper (SAM)*

O SAM segmenta o domínio espectral com base em ângulos vetoriais dos valores de brilho dos pixels. O algoritmo determina a similaridade entre dois espectros, tratando-os como vetores em um espaço com dimensionalidade igual ao número de bandas. A análise dos dados é baseada em uma referência espectral das bandas da imagem (KRUSE et al., 1993; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; RICHARDS, 2013a).

Os espectros de referência podem ser obtidos em bibliotecas de laboratórios, extraídos diretamente em campo ou da própria imagem. A partir desta amostra de dados, a interpretação do algoritmo será generalizada para todas as bandas. Na nossa pesquisa, os espectros de referências foram extraídos das amostras de treinamento da imagem RapidEye, considerando todo o seu conjunto de bandas (KRUSE et al., 1993; RICHARDS, 2013a).

A base de cálculo do SAM é o coeficiente de similaridade proporcional, o cosseno de teta (θ). A relação trigonométrica mede a diferença nas formas das curvas espectrais, se duas curvas têm a mesma forma e comprimento diferente a explicação é devido às mudanças na iluminação dos componentes da paisagem. É importante destacar que os valores dos ângulos não variam com o comprimento das curvas, sendo o resultado da classificação do SAM indiferente a esta medida (KRUSE et al., 1993; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; MATHER; KOTCH, 2011).

O processamento do algoritmo toma um conjunto de pixels de referência $\mathbf{r}$ e os compara com os pixels da imagem, representados pelo vetor $\mathbf{t}$ (Figura 53), cada pixel é considerado um vetor geométrico. Se a linha do vetor é coincidente, entre um pixel de interesse ($\mathbf{t}$) e a referência ($\mathbf{r}$) então o ângulo entre eles é zero. Como o cosseno de zero é 1, então, o $\cos(\theta) = 1$ indica similaridade total. A ausência de similaridade completa é indicada pelo ângulo máximo de 90° , sendo o $\cos(90^\circ) = 0$. Quando o valor de θ for 0 (similaridade completa) os pixels irão aparecer pretos, mas se θ for 90° ou $\pi/2$ radianos os pixels serão brancos (MATHER; KOTCH, 2011).

Figura 53 – Um espectro do pixel $\mathbf{t}$ da imagem é comparado com o espectro $\mathbf{r}$, de referência, em uma feição do espaço de duas dimensões. No gráfico **A** os dois vetores têm componentes que são medidos em uma escala entre 0 e 255, e então o ângulo θ terá um alcance de 0° a 90° , assim $0 \leq \cos(\theta) \leq 1$. Em **B** os elementos dos vetores $\mathbf{t}$ e $\mathbf{r}$ não possuem restrições de alcance, e θ tem alcance de 0° a 360° (2π radianos) com o cosseno variando entre -1 e 1 ($-1 \leq \cos(\theta) \leq 1$).

Fonte: MATHER; KOTCH, 2011.

Em imagens com 32 *bits* (2^{32}) de resolução radiométrica, existe a possibilidade de quadrantes adicionais com valores negativos (Figura 53). Os quadrantes positivos estão entre 0° e 90° (cosseno de $0^\circ = 1$ e de $90^\circ = 0$) e de 270° a 360° (cosseno de $270^\circ = 0$ e de $360^\circ = 1$); e os negativos entre 90° e 180° (cosseno de $180^\circ = -1$) e de 180° a 270° (cosseno de $270^\circ = 0$). Os valores dos pixels de saída ficarão assim dentro do intervalo de -1 e 1. Os vetores de pixels que são idênticos ao de referência aparecerão em branco (1), os pixels sem relação

estabelecida em tons de cinza e os pixels cujos vetores são recíprocos (-1) irão aparecer em preto (CROSTA, 1999; MATHER; KOTCH, 2011).

Em uma sequência numérica, considerando i como o elemento enésimo do vetor pixel de referência, sua representação será r_i para os vetores de referência e t_i para todos os vetores da imagem, com o $\cos(\theta)$ calculado por (KRUSE et al., 1993; MATHER; KOTCH, 2011):

$$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^N r_i t_i}{(\sum_{i=1}^N r_i^2)^{0,5} (\sum_{i=1}^N t_i^2)^{0,5}}$$

O número de bandas da imagem é representado por N . O numerador é a somatória do resultado da multiplicação dos vetores de referência pelos vetores da imagem. No denominador, o primeiro parêntese é a somatória do resultado da potência quadrada, de todos os vetores de referência, elevados ao expoente fracionado (0,5) que, então, é multiplicado pela somatória do resultado da potência quadrada, de todos os vetores da imagem, elevado ao expoente fracionado (0,5) (KRUSE et al., 1993; MATHER; KOTCH, 2011).

Os limites de decisão são baseados no melhor ângulo de separação (Figura 54), definido pelas amostras de treinamento das diferentes classes, utilizando usualmente a posição orientada pela média. As menores diferenças entre os ângulos de um grupo de pixels correspondem à elevada similaridade espectral e determinam o agrupamento da classe. Nós não definimos nenhum ângulo máximo para limitar a área de decisão do algoritmo, removendo o valor padrão de $5,72958^\circ$, pré-estabelecido no ENVI®, para que os pixels com um ângulo maior também fossem classificados (KRUSE et al., 1993; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; RICHARDS, 2013a).

O SAM tem uma abordagem trigonométrica e geométrica para classificar as imagens, diferindo das decisões estatísticas de probabilidade para formação das classes. Como todas as bandas podem participar da classificação é importante verificar se não há problemas com faixas ou linhas varreduras sem dados. As soluções incluem métodos de correção ou a exclusão da banda (*bad-band*) para garantir um resultado melhor na paisagem mapeada. O SAM alcançou bons índices de acurácia geral frente ao ML, ao MD e o SVM, superando-os em algumas análises

destacadas. Têm índice elevado de acerto para classes associadas a corpos d'água e urbano (KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; CAMPOS et al., 2016).

Figura 54 – Em **a** estão representados os pixels e seus vetores de direção angular; em **b** os pixels são agrupados em duas classes diferentes, considerando o melhor ângulo de segmentação.

Fonte: RICHARDS, 2013a.

3.3.4 Iterative Self-Organizing Data Analysis (ISODATA)

O pressuposto básico do classificador não-supervisionado ISODATA é considerar os agrupamentos (*clusters*) compactos ao redor de um centro de média das classes, em uma região esferoidal, no domínio espectral da imagem. A compactação será medida por um conjunto de desvios-padrão, em cada banda, separadamente. Se o desvio-padrão, para um agrupamento particular, é maior que um valor especificado para as interações então o agrupamento é alongado em direção aos eixos que representam essa classe (Figura 55) (MATHER; KOTCH, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012).

A segunda condição verificada pelo classificador é a separação dos agrupamentos por distâncias intercentrais maiores que um limite mínimo preestabelecido. Uma vez que os pixels tenham sido classificados, o desvio-padrão para cada eixo das bandas é calculado nos agrupamentos não-nulos k_0 . Em seguida as distâncias Euclidianas entre os centros de k_0 são encontradas. Qualquer agrupamento, com um desvio-padrão maior que o especificado, é separado ao meio

ao longo de uma linha perpendicular no eixo espectral de interesse (Figura 55). E os agrupamentos que estiverem mais próximos (distância simples) são fundidos. A rotina de separação e fusão resulta em um número k_1 de novas posições dos centros de agrupamentos e os pixels são reclassificados com respeito a esses novos centroides k_1 (MATHER; KOTCH, 2011; RICHARDS, 2013b).

Figura 55 – Agrupamento compacto (A) e alongado (B) em duas dimensões espaciais. O agrupamento (B) tem um desvio-padrão S_x e S_y nas bandas 1 e 2 respectivamente. O valor de S_x é maior que o especificado como limite para as interações, ocorrendo a divisão na linha XY.

Fonte: MATHER; KOTCH, 2011.

O processo se repete até que nenhum agrupamento seja dividido ou formado e nenhum pixel mude de agrupamento. Em cada ciclo, os centros que são associados a um número menor de pixels, que os limites para mudanças de classes pré-definidos, serão eliminados. Os pixels correspondentes a esses centros (sobras) são ignorados, não sendo classificados na interação seguinte, ou posicionados de volta para uma reclassificação nas próximas interações (MATHER; KOTCH, 2011).

Os centros iniciais são gerados de maneira aleatória, por meio da seleção de pares de coordenadas (x, y) e do vetor dos valores de pixels correspondentes ao pixel em uma linha y e coluna x como centro inicial. A regra de decisão considera

uma distribuição uniforme em uma hipotética possibilidade de formação de centros, baseados na entrada de um número de agrupamentos desejável junto com os limites de distância para divisão e fusão dos dados (MATHER; KOTCH, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os critérios para suspender o processo de decisão são atendidos por parâmetros definidos no aplicativo. As interações serão cessadas quando a média das distâncias Euclidianas entre os centros ficar abaixo do limite especificado ou quando as mudanças nas interações excederem a quantidade estabelecida (MATHER; KOTCH, 2011).

As divisões e fusões do classificador ISODATA não são limitadas por um número fixo de agrupamentos. Consideram-se os valores do desvio-padrão e da distância mínima como limiares para os pixels serem agrupados ou formarem novos agrupamentos (CAMPOS et al., 2016; MATHER; KOTCH, 2011; RICHARDS, 2013b).

As propriedades especificadas para o processamento do ISODATA promovem variações na acurácia da classificação. No ENVI® 5.3, os parâmetros e valores padrões iniciais são: classes (*classes* = 5–10), interações (*iterations* = 1), limite de mudança (*change threshold* = 5), pixels mínimos por classe (*minimum pixels for class* = 1), desvio-padrão máximo da classe (*maximum class stdv* = 1.000), distância mínima entre classe (*class distance minimum* = 5.000) e pares máximos de junção (*maximum merge pairs* = 2) (ABBAS et al., 2016; MERZOUGUI; NASRI; BOUALI, 2013).

Um estudo comparado entre algoritmos de agrupamentos demonstrou que o número de classes e interações exerce maior influência no grau de acurácia. O índice de interações foi aumentado de 1 para 100 e a variação do intervalo das classes foi alterado para 5–15 ante 5–10. A nova configuração proposta tornou as classes mais uniformes, limpas (diminuir o efeito “*salt-and-pepper*”) e aumentou a acurácia, assim, decidimos aplicar as novas medidas adaptando o intervalo de classes para 7–21, que corresponde a uma grandeza três vezes maior entre o mínimo e o máximo, e atribuir o valor 25 pixels por classe (*minimum pixels for class* = 25) em referência a área mínima mapeável de 625 m² (ABBAS et al., 2016).

O ISODATA obteve resultado de acurácia geral e estatística Kappa superior ao ML em comparação direta (acurácia geral de 70,67% contra 60,83 e estatística Kappa de 0,65 contra 0,53 respectivamente). Também alcançou elevado índice de

acerto na identificação de classes associadas a massas d'águas e áreas urbanizadas (CAMPOS et al., 2016; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011).

3.3.5 Support Vector Machines (SVM)

O SVM é um típico classificador supervisionado que requer amostras de treinamento. Utiliza como método algoritmos baseados na teoria estatística de aprendizagem. Uma estratégia de processos iterativos que busca determinar um hiperplano ideal ou ótimo, referência para a borda ou limite de decisão, estabelecido por meio das propriedades das amostras distribuídas no espaço de feição (Figura 56) (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; MATHER; KOCH, 2011; MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; TSO; MATHER, 2009b).

Figura 56 – Exemplo de SVM binário de separação linear pelo vetor que melhor separa duas classes, em um mesmo espaço vetorial (hiperplanos). Os pontos preenchidos pretos identificam os vetores (únicos) que definem o hiperplano ótimo ou ideal de decisão.

Fonte: MATHER; KOCH, 2011; MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; TSO; MATHER, 2009b.

Os SVMs são originalmente classificadores binários lineares de maximização da distância entre classes em relação ao hiperplano. Cada pixel é

representado como um vetor padrão, e em cada banda ele consiste em um conjunto de medidas numéricas (MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; TSO; MATHER, 2009b).

A função que define o hiperplano de separação linear é (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; TSO; MATHER, 2009b):

$$y_i(\mathbf{w}^T \cdot \mathbf{x}_i + \mathbf{b}) - 1 \geq 0 \text{ e } y_i \in \{1, -1\}$$

O y_i é uma das classes informadas nas amostras de treinamento, que será multiplicada pelo resultado da expressão entre parêntese. O $\mathbf{w}^T$ tem na base o vetor normal, perpendicular ao hiperplano, que indica a metade da distância total da margem até um dos vetores de suporte, e no expoente a matriz de transposição. O resultado da potência será multiplicado por um ponto $\mathbf{x}_i$, posicionado no hiperplano, somado ao viés $\mathbf{b}$, que é o vetor de direção do segmento de reta perpendicular ao hiperplano, a partir da origem. Como o SVM é um classificador binário as classes são separadas em 1 ou -1 (Figura 57) (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; TSO; MATHER, 2009b).

Figura 57 – Modelo SVM separando um conjunto de dados em duas classes. Nesse caso é possível identificar a regra de decisão e os vetores que determinam a margem e a direção do hiperplano no espaço de atributos.

Fonte: KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; TSO; MATHER, 2009b.

Quando não é possível fixar um hiperplano por equações lineares é necessário utilizar outra regra para separar as classes em uma dimensão espacial mais elevada. Adotar uma função *kernel* (centro ou essencial) permite classificar as amostras de treinamento, no mesmo espaço de atributos, ainda que elas tenham uma distribuição irregular muito próxima, espalhada ou distante (Figura 58) (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; TSO; MATHER, 2009b).

Figura 58 – Função *kernel* separando dados em um espaço de alta-dimensão.

Fonte: KAVZOGLU; COLKESEN, 2009.

A performance dos SVMs é estreitamente relacionada à escolha da função *kernel*. As funções estão agrupadas em linear, polinomial, radial e sigmoide. Entretanto, análises de trabalhos publicados demonstram que as funções polinomial e radial são as mais comumente aplicadas e as que apresentam os melhores resultados. As vantagens da função *kernel* de base radial (*radial basis function* – RBF) são o menor número de parâmetros reguladores e a menor sensibilidade da acurácia aos valores definidos para cada parâmetro (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; PAL; MATHER, 2005; TSO; MATHER, 2009b; USTUNER; SANLI; DIXON, 2015).

Na nossa pesquisa a RBF foi selecionada como função para elaborar os mapas das paisagens, no classificador SVM. A fórmula que descreve a sua regra de decisão, para um hiperplano não-linear, é (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; RICHARDS, 2013a; TSO; MATHER, 2009b):

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp \left(-\gamma \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2 \right), \gamma > 0$$

Em que $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ é o domínio de atributos da função *kernel* e $\exp \left(-\gamma \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2 \right)$ indica uma função exponencial com o parâmetro regulador γ de largura ou distância (geralmente Euclidiana) da borda (limite) de decisão, que deve ser definido pelo analista no aplicativo. A expressão $\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2$ é o valor em módulo elevado ao quadrado, que indica a transformação dimensional do espaço de atributos. A transformação quadrática produz uma dimensão tridimensional de análise (Figura 58), sendo possível ampliar as dimensões aumentando o valor do expoente da potência. Para uma transformação cúbica haverá quatro dimensões (KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; RICHARDS, 2013a; TSO; MATHER, 2009b).

Para superar a concepção binária do SVM, e lidar com a classificação de múltiplas classes, a solução adotada foi implementar decisões binárias sucessivas e encadeadas para gerar um resultado único, por meio de comparação e exclusão. As principais estratégias utilizadas são a um-contra-um (*one-against-one*) e a um-contra-todos (*one-against-all*). A classificação obtida com a abordagem um-contra-um tem a vantagem de gerar mapas com maior acurácia, apesar do elevado custo de processamento, que a um-contra-todos (ALBUQUERQUE, 2012; KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; TSO; MATHER, 2009b).

No aplicativo ENVI® 5.3 a estratégia de classificação de imagem disponível é a um-contra-um (*one-against-one*). Que compara pares de classes, considerando todas as possibilidades de combinações, avaliadas a partir do conjunto de treinamento das n classes informadas. O total de classificadores necessários será de $n(n - 1) / 2$ e a decisão da classe atribuída ao pixel depende do resultado da maioria de votos (ALBUQUERQUE, 2012; HARRIS, 2017; KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; TSO; MATHER, 2009b; USTUNER; SANLI; DIXON, 2015).

Um exemplo do processo um-contra-um para as classes a , b , c e d começa com a formação de pares excludentes comparáveis: a e b (1); a e c (2); a e d (3); b e c (4); b e d (5); c e d (6). E em uma situação ideal de calibração do algoritmo o pixel irá pertencer a classe a se receber 3 votos, dos confrontos 1, 2 e 3. O resultado de 4 e 5 será indiferente, já que, a classe a obteve 3 votos (ALBUQUERQUE, 2012).

A indicação dos parâmetros reguladores de largura ou distância (γ) e de penalidade de erro ou custo (C), da RBF, também é uma etapa crítica para a classificação. A acurácia dos resultados é influenciada pelos valores de γ e C . A solução adotada na nossa pesquisa foi utilizar referências de trabalhos publicados, com a combinação de melhor desempenho, que ressaltasse principalmente as imagens RapidEye e o aplicativo ENVI®. A partir do contexto descrito os valores foram: $\gamma = 0,2$ e $C = 400$ (ALBUQUERQUE, 2012; KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; USTUNER; SANLI; DIXON, 2015).

São fartos os exemplos na literatura que destacam o SVM como o classificador de melhor acurácia geral e estatística kappa mais elevada, quando comparado ao ML e o SAM. Como classificador direto, aplicando um *kernel* de função radial, apresenta desempenho muito elevado de acurácia para as classes corpos d'água (100%), vegetação (79,43 a 94,22%), pastagem (85,43 a 94,22%), solo exposto (91,56 a 97,14%) e urbano (89,78 a 95,14%) em classificações de imagens LANDSAT ETM+ e Terra ASTER (KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; LIU et al., 2014; PAL; MATHER, 2005; MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; USTUNER; SANLI; DIXON, 2015).

3.3.6 Técnicas de Avaliação das Classificações e dos Classificadores

A APRMSP foi classificada visualmente sobre as imagens RapidEye (GEO CATÁLOGO, 2015; SCON, 2017) utilizando elementos de interpretação de imagem ou fatores-guias de reconhecimento (Tabela 3; Tabela 4), consultas na base de dados do Google Earth e trabalhos de campo (APÊNDICE A).

A etapa de pré-processamento buscou padronizar os testes e simplificar a obtenção de resultados. O primeiro procedimento foi configurar o aplicativo ENVI® 5.3 para não aplicar automaticamente nenhum método de reamostragem (*pyramid*) ou aumento de contraste (*stretch*). Em seguida foi delimitada a APRMSP para definir a área de exclusão (máscara e fundo) de processamento. O valor ignorado nas imagens e atribuído à área de exclusão foi 65.531, não utilizado por nenhum pixel e válido no intervalo entre 0 e 65.535 dos números digitais (DN) das imagens.

O par de imagens (Figura 44) foi unificado em um mosaico que harmonizou faixas de 1.100 m com valores de 210 pixels de sobreposição, conforme o padrão de

ajuste de borda sugerido pelo aplicativo. Após a adequação da dimensão da APRMSP foram selecionadas as amostras de referências (regiões de interesse) para gerar as classificações. Nós buscamos representar a variação dos valores de pixel, ao longo da imagem, com a distribuição uniforme das amostras de treinamento na APRMSP, considerando a proporção dos componentes por UP (Tabela 7; Tabela 8; Figura 59).

Tabela 8 – Quantidade total e média de pixel nas amostras de referência para as UPs da APRMSP – 2018.

UP	Número de Áreas Amostradas	Total de Pixel	Média
AU	55	12.554	228
SE	41	8.623	210
CP	139	31.859	229
RF	43	10.420	242
FL	88	18.170	206
AD	16	3.657	229
AG	10	2.555	256
Total/ Total Médio	392	87.838	229

Fonte: AUTOR (2018).

As imagens fornecidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (GEO CATÁLOGO, 2015; SCON, 2017) dispensaram correções geométricas e radiométricas, também não aplicamos quaisquer técnicas de contraste ou filtragem para melhorar a aparência das imagens, sendo mantidos os valores e a distribuição de níveis de cinza, evitando alterações nos números digitais e no histograma das imagens. As classificações do MD, ML, SAM, SVM e ISODATA foram realizadas na APRMSP com a inclusão das 5 bandas (Tabela 5; Tabela 6; Figura 59).

Figura 59 – Distribuição das amostras de treinamento para as classificações supervisionadas da APRMSP. A imagem de fundo, na combinação G-R-NIR, ilustra o resultado do mosaico das cenas. A cor e a tonalidade foram aplicadas para favorecer a visualização.

Fonte: AUTOR, 2018; GEO CATÁLOGO, 2015; SCCON, 2017.

Na fase de pós-processamento as 21 classes geradas pelo classificador ISODATA foram agrupadas nas 7 UPs, com as combinações sendo guiadas pelo Mapa da Classificação Visual da APRMSP. Para melhorar a aparência do resultado das classificações nós aplicamos a técnica *Majority Analyses* para remover pixels isolados (“*salt-and-pepper*”) classificados (excluímos os valores ignorados e não classificados). Os parâmetros de busca e comparação (o tamanho da janela móvel) definidos pelo aplicativo na análise de maioria (*Analyses Majority*) para alocar os pixels isolados em outras classes foram mantidos – *kernel size* 3 x 3 e *center pixel weight* 1.

Apesar da pressuposição que as classificações automáticas sejam totalmente exaustivas e exclusivas, com todas as UPs pré-definidas classificadas com apenas um rótulo, quando um pixel ou grupo de pixels não era classificado o seu rótulo na legenda foi sem classificação (CONGALTON; GREEN, 2009; IWAI; QUINTANILHA, 2005).

Os resultados dos mapas dos classificadores de imagens foram comparados contra os dados de referência do mapa produzido pela interpretação visual (Figura 64). Nós avaliamos a acurácia temática por meio das medidas mais amplamente aceitáveis: a matriz de confusão e a estatística Kappa (CONGALTON; GREEN, 2009; CONGALTON; MEAD, 1983; MATHER; KOTCH, 2011; STORY; CONGALTON, 1986).

A matriz de erro ou confusão é uma matriz quadrada numérica, definida em linhas e colunas, para expressar o número de células atribuídas a uma determinada categoria específica em relação a uma categoria de referência, tomada como correta. As colunas usualmente indicam os dados de referência, que na nossa pesquisa são as Unidades de Paisagem (UPs) classificadas visualmente, e as linhas as classificações avaliadas, que na nossa análise são as Unidades de Paisagem (UPs) geradas pelos classificadores de imagem (CONGALTON; GREEN, 2009; CONGALTON; MEAD, 1983; STORY; CONGALTON, 1986).

Os erros medidos pela acurácia são a exclusão (ou omissão) e inclusão (ou comissão) de classes em um mapa. Um erro de omissão ocorre quando os pixels de uma área são erroneamente excluídos da classe correta, a que deveriam pertencer, e consequentemente comissionados em uma classe incorreta. A acurácia geral relaciona as unidades corretamente classificadas com o total de amostras utilizadas na matriz de confusão, para verificar a concordância entre os dois conjuntos. O

resultado desta correlação é uma referência para as Unidades de Paisagem (UPs) de todo o mapeamento, mas não indica como a acurácia está distribuída por categoria individual (CONGALTON; GREEN, 2009; IWAI; QUINTANILHA, 2005; STORY; CONGALTON, 1986).

A representação matemática de uma matriz de confusão pode ser demonstrada pela suposição que uma quantidade de n amostras está distribuída dentro de k^2 células, onde, cada amostra é atribuída para uma das k categorias no mapa (usualmente as linhas), e independentemente para uma das mesmas k categorias no conjunto de dados (usualmente as colunas). O n_{ij} denota o número de amostras classificados dentro da categoria i ($i = 1, 2, \dots, k$) e j ($j = 1, 2, \dots, k$) nos dados da classificação (Figura 60) (CONGALTON; GREEN, 2009, p. 29).

Figura 60 – Modelo de uma Matriz de Confusão – 2009.

		$j = \text{Colunas (Referência)}$			Total de Classes na Linha
		1	2	k	n_{i+}
$i = \text{Linhas (Classificação)}$	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
Total de Classes na Coluna		n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n
		n_{+j}			

Fonte: CONGALTON; GREEN, 2009.

O valor de n_{i+} é igual ao somatório de todos os valores das categorias n_{ij} , iniciando na posição 1 da coluna j até o número total de k colunas (Figura 60). Observando as classes da linha 1, o número n_{11} é o resultado da contagem de coincidências entre a unidade da classificação e de referência, com valores que variam de 0 a n_{i+} . Já os números entre n_{12} e n_{1k} são quantidades de classes entre 2 e k , das colunas j , atribuídos pela classificação à linha 1, que não coincidem com

os dados de referência, variando entre 0 e n_{i+} . A fórmula que descreve o cálculo da soma das linhas é (CONGALTON; GREEN, 2009; IWAJ; QUINTANILHA, 2005; STORY; CONGALTON, 1986):

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^K n_{ij}$$

O valor de n_{+j} é igual ao somatório de todos os valores das categorias n_{ij} , iniciando na posição 1 da linha i até o número total k linhas (Figura 60). Um exemplo de análise para avaliar a classificação, na perspectiva da coluna 2 , é que o número n_{22} é o resultado da contagem das coincidências entre a unidade da classificação e da referência, variando entre 0 e n_{+j} . Enquanto os números entre n_{12} e n_{k2} são valores das classes entre 1 e k , das linhas i , atribuídos à coluna 2 , não coincidentes entre o dado de referência e o resultado classificação, variando entre 0 e n_{+j} . A fórmula que descreve a soma dos valores na coluna é (CONGALTON; GREEN, 2009; IWAJ; QUINTANILHA, 2005; STORY; CONGALTON, 1986;):

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^K n_{ij}$$

A acurácia geral entre a classificação e os dados de referência pode, então, ser calculada pela soma total dos valores da diagonal principal, ou a somatória da categoria ii até a linha e a coluna kk , com o resultado da soma das classificações corretas (11 ; 22 ; $kk...$), dividida pelo número total de amostras n (Figura 60). (CONGALTON; GREEN, 2009; IWAJ; QUINTANILHA, 2005; STORY; CONGALTON, 1986;):

$$\text{Acurácia Geral} = \frac{\sum_{i=1}^K n_{ii}}{n}$$

Considerando os custos e o rigor estatístico da avaliação, nós identificamos as amostras de referência no banco de dados do Google Earth (2018) e em levantamentos de campo (2018) (APÊNDICE A; APÊNDICE B; Figura 64) (CONGALTON; GREEN, 2009; CONGALTON; MEAD, 1983; IWAI; QUINTANILHA, 2005; STORY; CONGALTON, 1986).

Nós utilizamos 552 pontos (APÊNDICE A; Tabela 9) de intersecção para selecionar os componentes ou elementos das UPs, expressos por grupos de pixels delimitados por polígonos no Mapa da Classificação Visual da APRMSP (Figura 64). Os 552 pontos foram gerados aleatoriamente no ArcGIS® 10.2.2, em três etapas independentes, que sortearam 184 pontos em cada um dos 3 setores (Figura 43) da APRMSP (CONGALTON; GREEN, 2009).

Tabela 9 – Valores absolutos e em porcentagem (%) da frequência (F) e das áreas totais das UPs comparados à frequência dos pontos de controle, na APRMSP – 2018.

UP	Frequência (F) das UPs	% (F) das UPs	Área Total (ha)	% Área (ha)	(F) dos Pontos	% (F) dos Pontos
AU	1.106	14,1	11.045,37	43,6	189	34,2
SE	814	10,4	361,45	1,4	9	1,6
CP	2.801	35,6	2.670,47	10,5	64	11,6
RF	859	10,9	1.827,76	7,2	48	8,7
FL	1.758	22,4	6.703,98	26,4	154	27,9
AD	324	4,1	520,30	2,1	14	2,5
AG	201	2,6	2.218,95	8,8	74	13,4
Total	7.859	100	25.348,28	100	552	100

Fonte: AUTOR, 2018.

O número 552 corresponde aproximadamente a 7% do total dos componentes registrados no Mapa da Classificação Visual da APRMSP (Figura 64; Tabela 9). A distribuição aleatória dos 184 pontos, feita após a conclusão do mapa, garantiu a consistência e objetividade (esquema de classificação e estrutura da paisagem) amostral para o padrão da paisagem (CONGALTON; GREEN, 2009).

É importante destacar algumas implicações do sorteio orientado aos setores da APRMSP. Por esse critério a área total dos componentes exerceu uma influência maior na seleção das amostras que o número de componentes das UPs (Tabela 9).

As Unidades AU e FL foram assinaladas 189 e 154 vezes respectivamente, o que correspondeu a 62,1% dos pontos distribuídos. Uma concentração diretamente correlacionada à cobertura de 70% do território, pelas duas unidades, que são as respectivas matrizes dos setores 1 e 3 (Figura 64).

A distribuição dos pontos nas outras UPs confirmou a dominância da área no levantamento das amostras. Os 2.801 (35,6%) componentes registrados, na categoria CP, foram observados apenas 64 vezes em função da representatividade da sua área (10,5%) no total da APRMSP. A consequência desse processo foi a subamostragem das unidades SE e AD em oposição à superamostragem da AU e FL (Tabela 9). Entretanto essa discrepância foi compensada, no esquema de classificação, pelo número reduzido de classes de UPs, inferior a 12, obtidas por classificação direta na APRMSP com área total (25.348,67 ha) menor que 405.000 ha (ANDERSON et al., 1983; CONGALTON; GREEN, 2009).

Para os levantamentos de campo foram selecionados os primeiros 15 pontos dentre as 184 ocorrências (APÊNDICE B), previamente observadas no Google Earth. Quando não fosse possível acessar ou visualizar (falta segurança, transporte ou proibição) o local em campo, o ponto da posição 16 automaticamente seria selecionado para substituir este local, e assim sucessivamente, até alcançar as 15 verificações pretendidas, ou um subconjunto aproximado de 7% das amostras de referência por setor (CONGALTON; GREEN, 2009; GOOGLE Earth, 2018).

A amostragem aleatória simples (ou randômica) permite que os dados de referência sejam coletados simultaneamente para controle e avaliação. Sendo a única que satisfaz completamente a suposição multinomial (mais que dois resultados possíveis) da estatística Kappa (CONGALTON; GREEN, 2009).

A estatística ou índice Kappa é uma medida, de 0 (fraca) em direção a 1 (forte), da concordância entre a classificação avaliada e os dados de referência. Ela verifica a confiabilidade da acurácia apontada pela matriz de confusão, ao comparar a diagonal principal (concordância real entre as unidades classificadas) com as chances de combinação nas margens (linhas e colunas) da matriz (IWAI; QUINTANILHA, 2005; CONGALTON; GREEN, 2009; CONGALTON; MEAD, 1983).

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

As variáveis da fórmula do Kappa são previamente definidas em uma matriz de confusão (Figura 60). Em que n é o número total de amostras observadas ou o total de células; k é o número de linhas e colunas; n_{i+} a soma das amostras da linha i , indicada nas linhas da margem da matriz; n_{+i} é a soma das amostras da coluna i , indicada nas colunas da margem da matriz; n_{ii} é o número de classes corretamente classificadas, na linha i e coluna i , registradas na diagonal da matriz central (IWAI; QUINTANILHA, 2005; CONGALTON; GREEN, 2009; CONGALTON; MEAD, 1983).

O Kappa é calculado no numerador pela multiplicação do total de células pela somatória da diagonal central ou principal, menos a somatória da multiplicação dos totais nas linhas e coluna da margem da matriz. O resultado é dividido pelo quadrado do total de células menos a somatória da multiplicação dos totais nas linhas e coluna da margem da matriz (IWAI; QUINTANILHA, 2005; CONGALTON; GREEN, 2009; CONGALTON; MEAD, 1983).

Nós selecionamos o mapa temático elaborado pela classificação visual (Figura 64) e o mapa do ISODATA (Figura 85) com o maior valor de acurácia geral, confirmada pelo índice Kappa, como base para os mapas binários de manchas de vegetação (habitat e não-habitat) e o cálculo das métricas de estrutura da paisagem — tamanho ou área da mancha, número de manchas, proporção ou porcentagem de habitat, índice de forma e o índice integral de conectividade — analisando suas consequências nos resultados que poderiam embasar decisões de planejamento e gestão ambiental (LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; LINDENMAYER et al., 2008; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; RAMEZANI et al., 2013; SAURA; TORNÉ, 2017; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

O desempenho ou performance dos classificadores de imagens foi avaliado pela técnica de votação ou eleição. Analisamos a contagem da recorrência das classes ou componentes das UPs, corretamente rotulados, tendo como referência a classificação visual associada à área mínima mapeável de 625 m² (0,0625 ha). O classificador com melhor desempenho é aquele com a maior soma de acertos, ou repetições corretas, na comparação com os 552 pontos de referência da APRMSP (BRIEM et al., 2002; CAMPOS et al., 2016; LIU et al., 2014; MANFRÉ; NÓBREGA; QUINTANILHA, 2016).

3.4 Métricas de Estrutura da Paisagem

As métricas ou índices de análise da estrutura da paisagem são parâmetros quantitativos utilizados como substitutos abióticos de dados biológicos (GUSTAFSON, 1998; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER et al., 2008; SCHINDLER et al., 2015; SZILASSI et al., 2017). A importância da sua aplicação é indicar a quantidade de habitat e a fragmentação da paisagem, fatores indispensáveis para a conservação da biodiversidade, no contexto do planejamento, monitoramento e da gestão territorial (CABACINHA; CASTRO, 2009; CAMPOS, 2013; DALLOZ et al., 2017; FAHRIG, 2003; METZGER et al., 2009; RAMEZANI et al., 2013; RIBEIRO et al., 2009; SARTORELLO, 2014).

A dinâmica da paisagem, resultante de inter-relações intrínsecas dos sistemas naturais ou de alterações induzidas por sistemas antrópicos, alteram a distribuição e sobrevivência das espécies (CAMPOS, 2013; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; METZGER et al., 2009; TURNER; 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). Levantamentos de dados biológicos sempre estarão sujeitos às variações das escalas de tempo e espaço, não sendo tangível presumir inventariar completamente as espécies que formam a biodiversidade das áreas envolvidas em estratégias de conservação (FAITH, 2003; WILLIAMS; MARGULES; HILBERT, 2002).

Não é nossa intenção subestimar a importância dos inventários de vegetação e fauna, para o diagnóstico ambiental. Sublinham-se, ainda, os avanços na geração e disponibilidade de dados biológicos motivados por instrumentos legais e institucionais que surgiram a partir 1967, nos Estados Unidos, com o estabelecendo da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) (AGUIAR, 2014; DALLOZ et al., 2017; LAMONICA, 2016; SÀNCHEZ, 2013).

A AIA se difundiu pelos países do mundo como consequência de fatores associados. Em nível internacional o meio científico-acadêmico e agências governamentais passaram a exigir Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) como prevenção efetiva da degradação, sendo tal obrigatoriedade estendida aos tratados internacionais das agências de desenvolvimento bi e multilaterais como critério para financiamento. Outros destaques importantes para divulgação e consolidação da AIA foram a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), a Rio-92, e a atuação de grandes ONGs na defesa ambiental,

influenciando em legislações locais e pressionando governos e instituições a combaterem os impactos gerados pelas atividades antrópicas (LAMONICA, 2016; MIRRA, 2006; SÀNCHEZ, 2013).

No Brasil a AIA foi incorporada pela Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, de 1981, sendo o seu dispositivo legal fortalecido pelo vínculo à Constituição Federal de 1988 (AGUIAR, 2014; LAMONICA, 2016; SÀNCHEZ, 2013). O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) são os instrumentos mais importantes da atuação administrativa e do ordenamento jurídico brasileiro para conservação ambiental, frente à implantação de empreendimentos ou projetos socioeconômicos que potencialmente podem causar a degradação ambiental (MIRRA, 2006; SÀNCHEZ, 2013).

A etapa do diagnóstico ambiental do EIA compreende a produção de dados primários da área de estudo, que formarão a base do processo decisório da AIA, com análises físicas (solos, águas, clima, relevo), biológicas (vegetação e fauna) e antrópicas (cobertura e uso do solo). Mas o seu principal objetivo é a análise das relações entre os componentes da paisagem e as consequências das alterações provocadas por processos antrópicos (AGUIAR, 2014; DALLOZ et al., 2017; LAMONICA, 2016; SÀNCHEZ, 2013).

A institucionalização da política ambiental ampliou os esforços para levantamentos e disponibilidade de dados biológicos. Apesar do avanço no conhecimento dos domínios paisagísticos brasileiros, uma tendência se estabeleceu nos relatórios, descrever exaustivamente compilações de listas de espécies sem produzir análises funcionais ou sínteses capazes de explicar as paisagens e as possíveis consequências adversas promovidas por alterações antrópicas. A regionalização do Brasil concentrou os levantamentos em áreas de fisionomias de Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), no domínio tropical atlântico, e ainda assim sem protocolos padronizados de inventários e com distribuição espacial pobre, o que caracteriza as frequentes sobreposições e lacunas de dados (AB'SÁBER, 2010f; LAMONICA, 2016; RIBEIRO et al., 2009; SÀNCHEZ, 2013).

A aplicação das métricas de paisagem é fortalecida diante do cenário apresentado. O vínculo entre os padrões de estrutura e os processos ecológicos permite monitorar a dinâmica de uma paisagem ao longo do tempo, comparar a diferença entre duas ou mais paisagens e analisar as consequências da fragmentação nos índices de biodiversidade (riqueza de espécies, dispersão,

padrões de movimento, fluxos genéticos e de nutrientes, taxa de recolonização e extinção) (CABACINHA; CASTRO, 2009; DALLOZ et al., 2017; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; METZGER, 2000; METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; SCHINDLER et al., 2015; SZILASSI et al., 2017; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

As métricas também são relevantes devido à harmonia entre seus resultados, objetivos e cartografáveis. As análises espaciais são extraordinariamente informativas quando comparadas a registros de levantamentos e coletas de espécies (TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Exemplos da importância da quantificação dos padrões de paisagem para compreender os seus efeitos em processos ecológicos foram verificados para métricas de mancha que correlacionaram altos valores de área (CABACINHA; CASTRO, 2009; LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; RIBEIRO et al., 2009; SZILASSI et al., 2017; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001), área núcleo (CABACINHA; CASTRO, 2009; LANG; BLASCHKE, 2009; RIBEIRO et al., 2009) e perímetro com índices de diversidade de espécies (CABACINHA; CASTRO, 2009; LANG; BLASCHKE, 2009). As métricas de distância (isolamento e proximidade), que descrevem a relação entre manchas, em geral corresponderam à expectativa das análises para diversidade de espécies, com coeficientes negativos (perda de conectividade) indicando maior isolamento de um fragmento e consequente menor diversidade (CABACINHA; CASTRO, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; METZGER, 2000; METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Os resultados dos índices de forma foram discrepantes, alguns apresentaram correlações positivas quando deveriam ser negativas (CABACINHA; CASTRO, 2009), enquanto outros foram coerentes em explicar a dinâmica da estrutura da paisagem como consequência do agrupamento de táxons (LANG; BLASCHKE, 2009; SZILASSI et al., 2017). Diferindo da métrica de classe para a disponibilidade ou proporção de habitat, considerada uma medida mais robusta para demonstrar a biodiversidade de espécies de uma paisagem (DALLOZ et al., 2017; GUSTAFSON, 1998; SARTORELLO, 2014).

A revisão das referências identificou um consenso quanto à utilidade e importância da quantificação para explicar o desenvolvimento (perspectiva antrópica) e a dinâmica da paisagem em diferentes escalas (LANG; BLASCHKE,

2009; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). Contudo é necessário destacar as fragilidades, decorrentes principalmente da escassez de estudos específicos, que podem prejudicar ou limitar análises associadas ao funcionamento dos ecossistemas ou a processos ambientais (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; LINDENMAYER et al., 2002; LUSTIG et al., 2015; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; RAMEZANI et al., 2013; SCHINDLER et al., 2015).

A sensibilidade das métricas aos fatores dependentes da escala e resolução temática (mapeamento associado ao nível de detalhe) da paisagem é frequentemente negligenciada ou fundamentada a partir de estudos com casos ecológicos ou ambientais únicos, que tratam de um ou no máximo dois fatores particulares (LUSTIG et al., 2015; RAMEZANI et al., 2013; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; URBAN, 2005). Métricas aplicadas a uma configuração de paisagem poderão gerar resultados aparentemente contraditórios quando examinado em diferentes escalas de tempo e espaço (GUSTAFSON, 1998; LUSTIG et al. 2015; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). As variações na escala promovem diferenças nos registros de processos ambientais e ecológicos que poderão ser constante, percebido como constante (neste caso a mudança não é detectada) ou com resposta compatível entre a estrutura da paisagem e o correspondente alvo ambiental e ecológico analisado (GUSTAFSON, 1998; LINDENMAYER et al., 2002; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Ilustraremos a descrição acima por um trecho dos resultados do artigo de Metzger et al. (2009). Este trabalho analisou a repercussão da dinâmica histórica da paisagem, em um intervalo de tempo (Figura 61), nas respostas de variáveis biológicas. Os resultados sugeriram a mediação da importância da área e conectividade dos fragmentos pela capacidade de dispersão ou uso de habitat alterados pela espécie. Indivíduos com baixa capacidade de dispersão foram particularmente sensíveis à redução da área dos fragmentos e da conectividade da paisagem (METZGER et al., 2009).

O artigo apresenta uma correlação forte entre a estrutura da paisagem e os processos ambientais e ecológicos. A análise de amostras de conjuntos de espécies e grupo funcionais (árvores, pequenos mamíferos, aves e sapos), em 21 fragmentos de vegetação, correlacionados a diferentes configurações da paisagem (esquemas de classificação) foi uma abordagem que lidou com os fatores dependentes da escala e resolução temática (METZGER et al., 2009). Tendo como foco os

indivíduos com baixa capacidade de dispersão e uso de habitat alterado, cada mapa de uso e cobertura da terra promove uma resposta perceptível. Caso a análise fosse exclusiva para um mapa ou para indivíduos com alta capacidade de dispersão a dinâmica da paisagem sobre os táxons poderia ser interpretada como constante.

Figura 61 – Mapas de cobertura e uso da terra do Planalto de Ibiúna, no Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. A tradução abaixo da legenda visa facilitar a leitura.

Fonte: METZGER et al., 2009.

O mapeamento em múltiplas escalas e a modelagem de variáveis biológicas são estratégias importantes para lidar com as escalas de análise da paisagem (RIBEIRO et al., 2009; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; URBAN, 2005). Os processos ecológicos e ambientais partem de uma compreensão empírica local, em escala de detalhe, e são generalizados para escalas regionais de planejamento e gestão do ambiente e do território (SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; RAMÓN, 2013; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; URBAN, 2005). A interação sistêmica entre os componentes da paisagem é complexa para ser analisada e representada, mas como demonstrado, é perfeitamente possível superar quaisquer limitações imposta pela escala e gerar resultados atraentes para as questões de desenvolvimento socioeconômico e de conservação ambiental (CAMPOS, 2013; LANG; BLASCHKE, 2009; SALINAS, 2004, 2005; SALINAS; RAMÓN, 2013; SARTORELLO, 2014; URBAN, 2005).

Os mapas de uso e cobertura da terra são as bases espaciais de representação dos dados primários para a análise da estrutura da paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009; SALINAS, 2004, 2005; SZILASSI et al., 2017; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). A classificação de imagens de satélite é a técnica mais difundida para os mapeamentos. Uma abordagem justificável pela disponibilidade de diferentes resoluções (espaciais e espectrais), continuidade e regularidade dos registros (CROSTA, 1999; JENSEN, 2009; LANG; BLASCHKE, 2009).

Identificar a estrutura da paisagem por fotointerpretação é uma tarefa que demanda tempo, repercutindo no cronograma dos trabalhos. Os classificadores automáticos de imagens são uma alternativa para obtenção rápida de resultados e com menor subjetividade humana (CAMPBELL; WYNNE, 2011; CAMPOS et al., 2016; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; MATHER; KOTCH, 2011; RAMEZANI et al., 2013; RICHARDS, 2013a, 2013b). Entretanto, os algoritmos de classificação automática, frequentemente, produzem mapas com acurácia geral menor que as técnicas de fotointerpretação e o seu desempenho por classe individual é muito variável (CAMPOS et al., 2016; CONGALTON; GREEN, 2009; KHATAMI; MOUNTRAKIS; STEHMAN, 2016; KAVZOGLU; COLKESEN, 2009; LIU et al., 2014; MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011; PAL; MATHER, 2005; ROZENSTEIN; KARNIELI, 2011; USTUNER; SANLI; DIXON, 2015). Esse comportamento é uma consequência das diferentes regras de decisão de cada classificador e da mistura espectral dos alvos da paisagem representados em mapas de uso e cobertura da terra (CAMPBELL; WYNNE, 2011; IWAI; QUINTANILHA, 2005; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; MANFRÉ; NÓBREGA; QUINTANILHA, 2014; MATHER; KOTCH, 2011; RICHARDS, 2013a, 2013b).

As métricas quantificam a configuração da paisagem informada pelos mapas de uso e cobertura da terra. Sendo a acurácia da classificação uma etapa crítica para a obtenção dos resultados, já que interferem na representação dos componentes da estrutura da paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; LUSTIG et al., 2015; RAMEZANI et al., 2013; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). A pesquisa desenvolvida poderá contribuir com a validação de mapeamentos, realizados por meio de classificadores automáticos baseados em pixel, e a sua possível correlação com a sensibilidade das métricas, avaliada pela diferença dos resultados dos valores dos índices e dos mapas gerados.

É importante destacar que o maior desafio para a aplicação das métricas é definir uma abordagem geral para selecionar quais e quantas devem ser utilizadas para descrever os padrões de paisagens (LUSTIG et al., 2015; RAMEZANI et al., 2013; SCHINDLER et al., 2015; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

O trabalho de Schindler et al. (2015) é um exemplo dos esforços científicos que tratam da seleção das métricas de paisagem. Foram avaliados seis diferentes métodos para selecionar um conjunto de três métricas: o “método A” calculou 200 amostras aleatórias (definidas a partir de uma combinação aleatória de 7.000 subconjunto de 3 métricas) para cada grupo de organismos e extensão da paisagem; o “método B” consultou 42 especialistas sobre táxons específicos (plantas lenhosas, orquídeas, insetos, anfíbios, répteis, aves e riqueza de espécies em geral); o “método C” usou uma árvore de decisão derivada das respostas sigmóides dos dados; o “método D” fez a Análise dos Principais Componentes (PCAs) para agrupamentos de variáveis colineares e a extração daquelas com carregamento mais alto, única por carga, para os primeiros 3 Principais Componentes (PCs); o “método E” é uma regressão de Principais Componentes (PCs) que especifica para cada extensão espacial da paisagem os primeiros 3 PCs para uso em análises subsequentes; o “método F” é a combinação de todas as possibilidades ($n > 1,69$ milhões) para definir e usar os conjuntos com melhores performance (SCHINDLER et al., 2015).

O “método F” foi significativamente melhor que os outros e não houve diferença significativa entre a escolha aleatória (A), a indicação de especialistas (B) e as abordagens estatísticas (C-E) (LUSTIG et al., 2015). Chama a atenção o fato das métricas apontadas pelos especialistas ter sido, na média, pior que a seleção aleatória. Porém testar todas as combinações possíveis, no caso específico mais que 1,69 milhões, não é uma opção viável para análises aplicadas. Além de reduzir os estudos da estrutura da paisagem a uma investigação estatística e não ecológica e ambiental (LUSTIG et al., 2015; SCHINDLER et al., 2015).

As recomendações, usualmente divulgadas, para selecionar as métricas de estrutura da paisagem são: utilizar um conjunto de cinco métricas relativamente independente, para evitar resultados redundantes, e optar por cálculos diretos de simplicidade intuitiva. Alguns fatores independentes que podem orientar a escolha das métricas devem considerar avaliar o número, a forma, a área e a distância entre

as manchas (GUSTAFSON, 1998; LINDENMAYER et al., 2002; LUSTIG et al., 2015; RAMEZANI et al., 2013; SCHINDLER et al., 2015; TURNER, 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

3.4.1 Seleção das Métricas de Estrutura da Paisagem

O nosso critério para selecionar as métricas de estrutura de paisagens foram revisões de trabalhos teóricos e aplicados. Nós planejamos essa abordagem considerando três níveis de referência. O primeiro foi associado às pesquisas vinculadas às paisagens brasileiras e ao próprio desenvolvimento da Ecologia da Paisagem no Brasil (CABACINHA; CASTRO, 2009; CAMPOS, 2013; DALLOZ et al., 2017; METZGER, 2000, 2001, 2006; METZGER et al., 2008; METZGER et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009; SARTORELLO, 2014).

No nível seguinte analisamos alguns trabalhos clássicos, fundamentais para o estabelecimento das análises quantitativas da paisagem, cuja relevância foi destacada nas publicações do primeiro nível (FAHRIG, 2003; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; LINDENMAYER et al., 2002; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; MINOR; URBAN, 2007, 2008; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SAURA; PASCUAL-HORTA, 2007; TURNER; 2005; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; URBAN, 2005). Em seguida fizemos um levantamento de publicações mais recentes de revisão, que eventualmente complementaram as informações dos níveis anteriores (LUSTIG et al., 2015; RAMEZANI et al., 2013; SCHINDLER et al., 2015; SZILASSI et al., 2017).

Dentre as inúmeras possibilidades de combinações de métricas, nós selecionamos um conjunto com cinco, das categorias gerais de mancha, classe, forma e teoria dos grafos (Tabela 10; Tabela 11). Que permitem caracterizar a configuração espacial da paisagem pelo número e área das manchas (tamanho dos fragmentos), a isometria ou complexidade da forma das manchas (relação interior-borda), proporção de habitat e o grau de conectividade ou isolamento (CABACINHA; CASTRO, 2009; CAMPOS, 2013; DALLOZ et al., 2017; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 1999, 2006; METZGER et al., 2008; PASCUAL-HORTA;

SAURA, 2006; RIBEIRO et al., 2009; SARTORELLO, 2014; SZILASSI et al., 2017; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007).

Tabela 10 – Métricas de estrutura da paisagem das categorias mancha, classe, forma e teoria dos grafos – 2016.

Categoria Geral	Métrica	Significado Espacial	Indicação Ecológica
Mancha	Tamanho ou Área da Mancha (<i>Patch size</i>)	Calcula o tamanho de cada mancha da paisagem.	Número de indivíduos e espécies, geralmente, é proporcional à área total de um fragmento de vegetação. Relação positiva entre a área e a riqueza, densidade e taxa de colonização das espécies.
Classe	Número de Manchas (<i>Number of Patches</i>)	Calcula o total de manchas por classe (vegetação, construções, solos e etc.) ou o total de manchas de uma paisagem. Depende da área total da paisagem.	O número de fragmentos de mesmo tipo está correlacionado com a riqueza, abundância e diversidade de espécies.
	Proporção ou Porcentagem de Habitat (<i>Habitat Proportion</i>)	Proporção de área por classe focal, representada na área da paisagem.	É um indicativo da disponibilidade de um habitat específico na paisagem. Possibilita estabelecer relações entre habitat adequado, com requisitos mínimos, para ocorrência de uma espécie.
Forma	Índice de Forma (<i>Shape Index</i>)	Índice de complexidade de forma das manchas. É avaliado como variações de um padrão circular (dados vetoriais) ou quadrado (dados matriciais ou <i>raster</i>). O valor será menor para manchas próximas do padrão.	Formas regulares e simples são melhores para a manutenção de processos ecológicos. Fragmentos de vegetação com bordas irregulares (retalhados) tendem a ser mais susceptíveis às perturbações externas pelo efeito de borda. Condição negativa para a produção biológica, diversidade e densidade de espécies.
Teoria dos grafos	Índice Integral de Conectividade (<i>Integral index of connectivity</i>)	Classifica as manchas associando a(s) distância(s) mais curta(s) e direta com a área total da mancha. O índice será mais elevado entre as manchas de maior área e conectadas com um menor número de ligações.	Considera a área do habitat em foco, o fluxo de dispersão estimado entre as manchas de mesmo habitat e sua importância como “stepping stones” para manter a conectividade entre as manchas da paisagem.

Fonte: CAMPOS, 2013; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 2006; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SAURA; TORNÉ, 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007.

Tabela 11 – Descrição das fórmulas das métricas de estrutura da paisagem das categorias mancha, classe, forma e teoria dos grafos – 2016.

Categoria Geral	Métrica	Sigla ⁽¹⁾	Fórmula	Descrição
Mancha	Área da Mancha	A	$A = a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$	a_{ij} = área (m ²) de uma mancha ij dividida por 10.000, para converter em hectare (ha).
Classe	Número de Manchas	NP	$NP = n_i$	n_i = número de manchas de mesma classe (i).
	Proporção ou Porcentagem de Habitat	PLAND	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \cdot (100)$	P_i = proporção da paisagem ocupada pelo tipo de mancha (classe) i. a_{ij} = área (m ²) da mancha ij. A = área total da paisagem (m ²). O resultado é multiplicado por 100 para converter em porcentagem.
Forma	Índice de Forma	SHAPE	$SHAPE = \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$	p_{ij} = perímetro (m) da mancha ij. a_{ij} = área (m ²) da mancha ij. Ajustado por uma constante (0.25) para formato matricial ou <i>raster</i> . SHAPE ≥ 1; com aumento sem limite, em função da maior irregularidade da forma. SHAPE = 1; quando a mancha é quadrada.
Teoria dos Grafos	Índice Integral de Conectividade	IIC	$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$ $dI (\%) = 100 \cdot \frac{I - I_{\text{removido}}}{I}$	n = total de nós, manchas de habitat, na paisagem; a_i e a_j = atributo (ex.: área da mancha) dos nós i e j; nl_{ij} = número de conexões, para o caminho mais curto (distância topológica), entre i e j; A_L = é a área total da paisagem analisada, composta por manchas de habitat e não-habitat. O IIC varia de 0 a 1, e aumenta com a melhora da conectividade. dI = importância da existência de um nó para manter a conectividade já estabelecida; I = valor do índice geral de importância quando todos os nós existentes estão presentes; I_{removido} = índice geral para todos nós após a remoção deste único nó focal da paisagem. Simula a perda de habitat. O resultado da importância do nó é dado em porcentagem.

Fonte: CABACINHA; CASTRO, 2009; CAMPOS, 2013; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 2006; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SARTORELLO, 2014; SAURA; TORNÉ, 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007.

⁽¹⁾ A sigla adotada corresponde à abreviação dos nomes das métricas no aplicativo Fragstats® (MCGARIGAL, 2015; METZGER, 2006).

O tamanho das manchas, tipicamente, tem uma correlação positiva com o número de espécies. Os índices de riqueza, densidade e da taxa de colonização tendem a aumentar com o aumento da área (BROW; LOMOLINO, 2006; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; MACARTHUR; WILSON, 1967; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001; YAMAURA, 2008). Já a interação das espécies com o isolamento é inversamente proporcional. E o número de espécies tende a diminuir com o aumento da distância, um fator limitante para o fluxo de esporos e deslocamentos de organismos (BROW; LOMOLINO, 2006; FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; MACARTHUR; WILSON, 1967; SARTORELLO, 2014; TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001). A variação do número de espécies, em função da área e do isolamento, foi explicada na Teoria do Equilíbrio da Biogeografia Insular (TEBI), desenvolvida por MacArthur e Wilson (1967), que utilizaram como base proposicional a relação de equilíbrio dinâmico (FORMAN; GODRON, 1986; GUSTAFSON, 1998; SARTORELLO, 2014).

A forma está relacionada com o efeito da borda. A diferença ambiental entre a faixa externa e o centro de uma mancha caracteriza a borda, com uma composição de espécies, abundância e densidade próprias. Manchas isométricas circulares ou quadradas têm maior relação interior-borda (comparadas com formas alongadas ou retangulares) e facilitam processos ecológicos que mantêm a diversidade de espécies em um habitat constante, que interage menos com a matriz, e diminui o efeito de borda (FORMAN; GODRON, 1986; MCGARIGAL; MARKS, 1995; MCGARIGAL, 2015; YAMAURA, 2008).

As análises sugerem que a redução da área das manchas pode ser compensada pela forma como alternativa para conservação. Nas situações, em que, é muito custoso estabelecer grandes reservas contínuas ou é preciso selecionar algumas áreas dentre remanescentes pequenos e esparsos, para estabelecer áreas protegidas e manter uma maior diversidade de espécies. É importante considerar que a variável área (tamanho) deve ser a referência primária. Paisagens com um número menor de manchas grandes tendem a conter mais espécies que diversas manchas menores (FORMAN; GODRON, 1986; YAMAURA, 2008).

A proporção de habitat (PLAND) relaciona a soma da área dos fragmentos com a área de uma paisagem, sendo um indicador da representatividade das classes de habitat. Os seus resultados são uma referência importante no direcionamento da seleção de áreas prioritárias para a conservação. A análise do

PLAND deve ser ponderada pelos valores da Área (A) e do Número de Manchas (NP), devido à correlação existente entre essas medidas (CAMPOS, 2013; DALLOZ et al., 2017; GUSTAFSON, 1998; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; SARTORELLO, 2014).

A teoria dos grafos quantifica a conectividade de uma perspectiva funcional, considerando o arranjo das manchas (habitat) na estrutura da paisagem (MINOR; URBAN, 2008; RIBEIRO et al., 2009; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007). O grafo ou rede é representado por um conjunto de nós (ou vértices) e caminhos (ligações ou bordas) dentro de uma matriz ou não-habitat. Os nós indicam elementos individuais — fragmentos ou habitat — e os caminhos a conexão entre eles (Figura 62). Os caminhos podem ser determinados exclusivamente por índices binários (está conectado ou não) ou conter informações adicionais sobre o nível de conectividade, como a probabilidade dos fluxos de indivíduos entre os nós (CAMPOS, 2013; MINOR; URBAN, 2007, 2008; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SAURA; PASCUAL-HORTA, 2007; SAURA; TORNÉ, 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007).

Figura 62 – Um grafo ou rede é formado pelos componentes: nó, ligação e bloco (componentes ou região conectada). Estão ilustrados na imagem dois blocos de habitat, com diferentes graus de conectividade. O nó 12 é importante por conectar muitos nós de um mesmo ramo do grafo. Os nós 5, 6, 7 e 11 fazem a intermediação entre um bloco agrupado (1–5) e fragmentos não agrupados, mas conectados (7–11).

Fonte: CAMPOS, 2013; MINOR; URBAN, 2007; SAURA; PASCUAL-HORTA, 2007; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007.

Todas as métricas foram calculadas e representadas em mapas binários (habitat e não-habitat), com a presença ou ausência do habitat adequado (CAMPOS, 2013; GUSTAFSON, 1998; LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 2006; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SARTORELLO, 2014; SZILASSI et al., 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007). Os aplicativos utilizados para gerar resultados dos cálculos das métricas foram o ArcGIS® 9.3 e 10.2.2, com as extensão ID Within Distance Parameter®, o Fragstat® 4.2.1 e o Conefor® 2.6 (CABACINHA; CASTRO, 2009; CAMPOS, 2013; LANG; BLASCHKE, 2009; LUSTIG et al., 2015; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 2006; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; RAMEZANI et a., 2013; SARTORELLO, 2014; SAURA; PASCUAL-HORTA, 2007; SAURA; TORNÉ, 2017; SCHINDLER et al., 2015; SZILASSI et al., 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007). Seguindo as especificações técnicas para execução correta dos cálculos o ponto (.) foi usado como separador decimal ao invés da vírgula (,). Para facilitar a apresentação e evitar equívocos e erros com seguidas alterações no sistema, os valores foram apresentados como exibidos no resultado dos cálculos, com o ponto agrupando as casas decimais no quadro com os resultados da técnica de votação (Figura 91), no gráfico com a acurácia geral das classificações e o resultado da votação (Figura 93) e no gráfico mostrando os valores NP e SHAPE agrupados nas classes de área na classificação visual e ISODATA (Figura 100) (CAMPOS, 2013).

O Fragstat® é o aplicativo mais abrangente de análise de padrões espaciais para quantificar a estrutura (composição e configuração) da paisagem. Os dados de entradas são mapas categóricos da paisagem no formato matricial ou *raster*, em todas as extensões usuais. Nós iremos calcular as métricas aplicando o cenário de análise com valores negativos para fundo. Neste modelo os pixels (células) negativos são ignorados (não são quantificados), estão fora da paisagem de interesse, independentemente da localização dos valores estarem no limite ou no interior da paisagem de interesse (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995).

Os valores positivos contêm as células válidas das manchas que são consideradas dentro da paisagem de interesse e incluídas nos cálculos da área (A), número de manchas (NP), proporção ou porcentagem de habitat (PLAND) e o índice de forma (SHAPE) (Tabela 10, Tabela 11) (CABACINHA; CASTRO, 2009; MCGARIGAL, 2015; MCGARIGAL; MARKS, 1995).

O ID Within Distance Parameter[®] gera os arquivos de nós e de conexão no formato necessário para executar o Conefor[®]. O Conefor[®] considera a força da conectividade interna da própria mancha, contabilizando a Área (A) disponível onde a conectividade certamente ocorre, e o número de ligações potenciais, tomadas por uma medida única, referente à capacidade de um organismo dispersar diretamente entre o fragmento em foco e os seus vizinhos mais próximos. Em uma mesma medida é integrado a quantidade de habitat disponível pela conectividade e a área conectada existente dentro da mancha, ou o total de habitat disponível na paisagem (PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SAURA; TORNÉ, 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007). Nós indicamos 500 m como a distância limite de busca das manchas de habitat. O valor, aplicado em outros trabalhos, foi uma referência teórica para testar a variação da métrica nos diferentes mapas de uso e cobertura da terra (CAMPOS, 2013; RIBEIRO et al., 2009).

Nós selecionamos o IIC (Tabela 10, Tabela 11), recomendado pelos manuais e artigos específicos (PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SAURA; PASCUAL-HORTA, 2007; SAURA; TORNÉ, 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007), para calcular o modelo de conexão binária e obter os resultados: valor equivalente de conectividade da paisagem (referente ao tamanho de uma mancha de habitat totalmente conectada) e a importância dos nós (críticos) para a manutenção ou melhoria da conectividade. Os dados de entrada foram o mapa com a estrutura binária da paisagem, a habilidade teórica de dispersão da espécie (distância Euclidiana borda-a-borda) e os arquivos de nós e conexões. O Conefor[®] assinala dois nós como conectados se a distância entre eles for menor que o limite definido (CAMPOS, 2013; PASCUAL-HORTA; SAURA, 2006; SAURA; TORNÉ, 2017; UNIVERSITY OF LLEIDA, 2007).

Os resultados das métricas foram divulgados em produtos inter-relacionados: os valores de cada índice e os mapas com a sua representação. Nós fizemos uma análise comparada da variação dos resultados tendo como referência os cálculos no Mapa da Classificação Visual da APRMSP, contextualizando com as condições mais adequadas para a conservação da paisagem.

O NP foi calculado para as manchas de habitat e os totais foram comparados entre as classificações visual e ISODATA. Ele também forneceu parâmetros para definir os intervalos das classes dos mapas de classes de Área (A), do Índice de Forma (SHAPE) e do Índice Integral de Conectividade (IIC). Assim os

agrupamentos de tamanho, forma e da importância dos fragmentos para conectividade foram padronizados em intervalos associados com as diferentes quantidades de fragmentos na APRMSP.

Nos mapas de Área (A) o mesmo intervalo foi comparado ao NP e à soma da área dos fragmentos florestais. Uma relação que indica a fragmentação da paisagem, explicada pela quantidade de fragmentos nas categorias com diferentes tamanhos de área. Para o Índice de Forma (SHAPE) e o Índice Integral de Conectividade (IIC) utilizamos o NP e comparamos a distribuição dos fragmentos nas categorias agrupadas com as respostas das melhores formas ecológicas e de importância para a conexão da paisagem.

O PLAND relacionou a área da APRMSP com a soma das áreas dos fragmentos das classificações visual e ISODATA. Nós analisamos os seus resultados considerando a influência da Área (A) total e do NP.

Além dos dados numéricos nós analisamos os mapas quanto às diferenças no padrão da paisagem. Observamos o desaparecimento, acreção e junção de fragmentos nas respostas espaciais. Qualquer variação analisada foi considerada um erro ou equívoco, devido à fragilidade dos resultados, e o potencial prejuízo para a tomada de decisão nas ações de planejamento ambiental e territorial.

Entretanto algumas ponderações relevantes decorreram do custo-benefício entre o esforço para elaboração de mapeamentos por interpretação visual e o nível de interferência dos resultados frágeis nas tomadas de decisão. Porque mesmo nas situações ideais de recursos técnicos e humanos o monitoramento é uma etapa que privilegia levantamentos rápidos que orientam a gestão. Há casos de recursos escassos ainda na fase de diagnóstico, portanto, as diferenças entre as classificações serão consideradas irrelevantes se as discrepâncias apontadas nos valores totais, intervalos de categorias e no padrão espacial não negarem a tendência apontada pelos dados do Mapa da Classificação Visual da APRMSP para as estratégias de conservação.

3.5 Procedimentos

A sequência de etapas, de 1 a 21, resume os procedimentos de desenvolvimento da pesquisa:

- Etapa 1: levantamento e revisão das referências: teoria, conceitos e aplicação.
- Etapa 2: consolidação da hipótese e dos objetivos.
- Etapa 3: definição da área de estudo.
- Etapa 4: obtenção das imagens RapidEye.
- Etapa 5: definição da APRMSP.
- Etapa 6: produção do Mapa da Classificação Visual da APRMSP, em escala de 1:10.000, no aplicativo ArcGIS® 10.2.2.
- Etapa 7: sorteio e verificação dos 552 pontos de controle e avaliação dos mapeamentos.
- Etapa 8: seleção dos classificadores de imagens: MD; ML com a inserção do parâmetro *Data scale fator* 65.535; SAM sem a opção de *Maximum Angle* (radians); SVM com valor de 0,2 para *gamma in kernel function* e de 400 para *penalty parameter*; ISODATA com valores 7 e 21 em *number of class*, 100 em *maximum iterations* e 25 para *minimum pixel in class*.
- Etapa 9: seleção das métricas de estrutura da paisagem: tamanho ou área da mancha (A), número de manchas (NP), proporção ou porcentagem de habitat (PLAND), índice de forma (SHAPE) e o índice integral de conectividade (IIC).
- Etapa 10: no ENVI® 5.3 as imagens foram classificadas utilizando o MD, ML, SAM e SVM por meio da seleção de 392 amostras de treinamento com a aplicação dos parâmetros definidos; classificação das imagens utilizando o ISODATA com a introdução dos parâmetros definidos.
- Etapa 11: transferência dos resultados das classificações MD, ML, SAM e SVM em formato matricial (*raster*) para avaliação da acurácia e do desempenho dos classificadores.
- Etapa 12: apresentação do padrão da paisagem (em escala de 1:90.000) e análise comparada no Mapa da Classificação Visual da APRMSP e das amostras de referência do Mapa da Classificação *Mahalanobis Distance* da APRMSP; Mapa da Classificação *Maximum Likelihood* da APRMSP; Mapa da Classificação *Spectral Angle Mapper* da APRMSP; Mapa da Classificação *Support Vector Machines* da APRMSP e Mapa da Classificação ISODATA da APRMSP.

- Etapa 13: cálculo da matriz de confusão, estatística Kappa e técnica de votação ou eleição.
- Etapa 14: análise comparada da acurácia e do desempenho dos classificadores.
- Etapa 15: no ENVI 5.3 foi feito a transformação do formato *raster* para *shapefile* e transferência dos resultados das UPs da classificação ISODATA, que alcançou o maior valor de acurácia e o melhor desempenho por classificador.
- Etapa 16: ajuste dos mapas de habitat (FL) e não-habitat no ArcGis 10.2.2 para o valor de área mínima mapeável de 625 m² (0,0625 ha).
- Etapa 17: montagem e transformação dos mapas de FL e Não-FL do Mapa da Classificação Visual da APRMSP e do Mapa da Classificação ISODATA da APRMSP para o formato *raster*, com tamanho de célula de 5 x 5 m.
- Etapa 18: cálculo das métricas A, NP, PLAND e SHAPE com Fragstat[®] 4.2.1, com a opção da regra de vizinhança de 8, que considera também a diagonal das células para identificação das manchas de mesmo tipo. Geração do arquivo de nós e das distâncias, com a extensão ID Within Distance Parameter[®], baseadas na seleção dos parâmetros de área, como atributo do fragmento de ponderação dos fluxos, e da borda da unidade FL como referência para o cálculo das distâncias entre os fragmentos.
- Etapa 19: Cálculo do IIC por setor (1, 2 e 3) no Conefor[®] 2.6, considerando a distância como tipo para conexões com limite de 500 m. Não foi possível calcular o IIC para toda a APRMSP devido à limitação de processamento do arquivo de nós, com 5.070 linhas, do mapa de habitat (FL) e não-habitat da classificação ISODATA.
- Etapa 20: apresentação (em escala de 1:90.000) e análise comparada dos resultados das métricas na APRMSP.
- Etapa 21: produção de relatório final compilando os resultados para checar a hipótese e concluir o trabalho.

A Figura 63 apresenta o diagrama do trabalho considerando os principais condicionantes e os fluxos de desenvolvimento.

Figura 63 – Diagrama do fluxo de trabalho do desenvolvimento da pesquisa.

Fonte: AUTOR, 2018

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Mapa da Classificação Visual da APRMSP (Figura 64) foi produzido durante 4 meses de trabalho. A unidade AU têm a maior área (11.045,37 ha) e diversidade interna, sendo definida por transições bruscas entre as construções (Figura 65; Figura 66), o sistema viário e áreas de lazer, recreação e passeio.

A presença de materiais heterogêneos e componentes ou tesseras com tamanho inferior à área mínima mapeável, como jardins e canteiros de vias com grama e árvores isoladas ou canais fluviais, dificultou a delimitação da AU gerando frequentes ponderações quanto ao agrupamento, inclusão e exclusão de componentes. Mas nos locais onde o concreto, o asfalto e os telhados têm uma cobertura contínua, ou estão organizados em blocos individualizados, o brilho e a forma geométrica facilitaram a diferenciação com as unidades de CP, RF, FL, AD e AG.

Os ajustes de delimitação mais frequente, no setor 1, foram a inclusão da unidade SE na AU. Os tons claros brilhantes de cinza, branco e amarelo na composição falsa-cor, e de amarelo e vermelho, na composição colorida contrastaram pouco com o brilho dos materiais que compõem AU. Outro aspecto visual que dificultou a diferenciação com o SE foi a forma regular e os tamanhos reduzidos, também característicos das construções individuais.

Figura 65 – Aglomeração de habitações em Capão Redondo, no PST1-6 (APÊNDICE B).

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 64 – Mapa da Classificação Visual da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 66 – Instalações industriais no distrito do Jaguaré, no PST1-13 (APÊNDICE B).

Fonte: AUTOR, 2018.

Já nos setores 2 e 3, com as matrizes AG e FL, a delimitação de SE (Figura 67) era realizada com maior facilidade. O contraste entre o vermelho brilhante e o preto na composição G-R-NIR foi o suficiente para identificar o contorno de SE.

A unidade de CP é a com maior diversidade entre os componentes selecionados. Por englobar módulos agropecuários, jardins, praças e terrenos com vegetação predominante herbácea e ocorrência de árvores e arbustos. As classes variaram em função da presença de árvores e arbustos, havendo componentes totalmente homogêneos lisos e outros com setores salpicados por árvores (Figura 68). Por representar diferentes formas de uso e cobertura estão espalhados por toda a APRMSP.

As UPs FL e RF têm distribuição correlacionadas nos três setores da APRMSP. São as unidades mais difíceis de serem separadas, havendo muitos trechos com sobreposição ou transição gradual. Quando o eucalipto ou pinus eram árvores adultas, geralmente de cultivos antigos permanentes, a cor vermelha e laranja escura nas combinações G-R-NIR e G-ER-NIR contrastaram com o vermelho e laranja mais brilhantes da FL e demarcaram a ruptura geométrica que indicou a borda entre as unidades. Entretanto quando os indivíduos eram mais jovens (Figura 69) essa ruptura não era nítida e muitas decisões foram corrigidas ou adequadas com base na consulta aos pontos de controle (APÊNDICE A; APÊNDICE B).

Figura 67 – Visualização, em segundo plano, da transição entre solo exposto e campo, no distrito de Parelheiros, no PST3-6 (APÊNDICE B).

Fonte: YAMANE, 2018.

Figura 68 – Pastagem em fazendas nas margens da represa Guarapiranga, observadas do PST3-12 (APÊNDICE B).

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 69 – Reflorestamento com eucaliptos de porte médio na vila Andrade, no PST1-11 (APÊNDICE B).

Fonte: AUTOR, 2018.

A unidade de Floresta (FL) é muito importante para a manutenção da dinâmica da paisagem e conservação dos serviços ecossistêmicos do cinturão verde. O seu padrão de distribuição varia entre fragmentos pequenos e isolados (Figura 64) pela matriz urbana no setor 1 (Figura 70), fragmentos médios e grandes isolados pela AU (Figura 71), SE, CP e a matriz AG no setor 2 e fragmentos grandes e conectados no setor 3 (Figura 64).

As UPs de AG e AD (Figura 72) ocorreram associadas e são as mais homogêneas. A delimitação da AG é facilitada pela cor preta e azul escura nas combinações G-R-NIR e G-ER-NIR. O brilho intenso do vermelho e magenta da AD com manchas marrons, textura predominante lisa e localização bastante restrita (não exclusiva) nas margens da represa Guarapiranga facilitaram a sua delimitação.

As amostras de referência foram selecionadas tendo como base o conhecimento da APRMSP alcançado na classificação visual. O gráfico com a relação entre a frequência total dos pixels (12.554) nas amostras de AU e o valor dos níveis digitais da imagem, armazenados em cada uma das bandas espectrais, indicou que as informações desta unidade têm elevada probabilidade de ocorrerem entre 1.300 e 7.800 DN. Intervalo referente à tendência de concentração dos pixels, definido pelo momento de inclinação das curvas a partir do valor da contagem de 30 pixels (Figura 73).

Figura 70 – Fragmento florestal isolado pela AU, no bairro Parque do Lago no distrito do Jardim Angela, em PST2-5 (APÊNDICE B).

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 71 – Fragmento com tamanho de 130 ha, no bairro Parque do Lago no distrito do Jardim Angela, em PST2-3 (APÊNDICE B).

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 72 – Área Úmida na planície de inundação da represa Guarapiranga no PST3-12 (APÊNDICE B).

Fonte: YAMANE, 2018.

Figura 73 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de AU. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, aponta a tendência de elevação das curvas com a concentração do número digital dos pixels amostrados.

Fonte: AUTOR, 2018.

Na AU as curvas foram unimodais e todas as bandas da imagem tiveram quantidade importante de níveis de cinza representando o brilho dos alvos heterogêneos em valores discretos. A comparação das médias por banda mostrou uma variação gradual baixa de 1.780 DN (de 4.052 a 5.832), considerando o universo de número digitais, entre 999 e 19.056, mostrando que os alvos nesta unidade têm contraste moderado (Figura 73).

Nas amostras de SE os números digitais não foram agrupados em uma única região, indicando uma tendência bimodal dos valores (Figura 74). Ocorreu um primeiro setor, de comportamento heterogêneo entre as bandas, com acúmulos de até 80 pixels, nas bandas 2 e 3, com valores entre 2.400 e 3.900. No segundo setor, mais homogêneo, os valores atingem picos de 4.500 com frequência semelhante nas bandas 2, 3, 4 e 5. A transição dos pixels nestas bandas é mais suave, destacando-se a menor amplitude, que o verificado na banda 4. Esse mesmo comportamento também é observado na última região do gráfico onde os valores caem abaixo de 30 pixels.

As propriedades de processamento da UP de SE “violam” a lógica de decisão do classificador ML, com o pressuposto da distribuição Normal das amostras de treinamento. As únicas bandas relativamente adequadas a essa regra de decisão são as bandas 4 e 5. As médias com valores próximos, a sobreposição das amplitudes com duas regiões principais de concentração de informações foi associada a dois conjuntos de amostras de referência, homogêneas entre si, mas com alvos com comportamentos distintos de reflectância. Nós relacionamos este comportamento com a participação de solos com matriz arenosa e materiais inconsolidados (cambissolos, areia e pedra brita), formados essencialmente por quartzo no setor 1, e solos com textura argilo-arenosa e argilosa (argissolos e latossolos vermelhos e amarelos) nos setores 2 e 3 da APRMSP (Figura 74).

Figura 74 – Gráficos e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de SE. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, é uma referência para observar os intervalos de concentração do número digital dos pixels amostrados. No segundo gráfico estão as bandas mais adequadas para o classificador ML.

Fonte: AUTOR, 2018.

Nas amostras de CP a banda 5 é a que teve o melhor contraste para registrar a radiância. A base larga do seu histograma registrou valores entre 1.345 e 14.874, com distribuição unimodal. As outras bandas contribuem com informações na região em que é menor a frequência dos pixels na banda 5, entre 1.257 e 3.954. Esta característica é compatível com a cobertura, predominante, da vegetação herbácea (Figura 75), mas com influência dispersa de construções da AU e SE incluídas nas amostras, considerando o contexto da seleção e o critério da área mínima mapeável.

Figura 75 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de CP. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, indica a tendência de elevação das curvas e concentração da frequência do número digital dos pixels amostrados.

Fonte: AUTOR, 2018.

As curvas dos histogramas (Figura 76) da UP de RF indicam claramente a maior variabilidade de brilho da banda 5. Nesta banda a média (4.133) e a moda (4.256) tem valores próximos (tendo como referência 15 pixels), equivalente a uma distribuição Normal, com dispersão equilibrada ao longo do eixo x, dos valores de DN. A banda 4 também apresenta uma curva com contorno mais suave e simétrico ao redor da moda. Considerando o valor de referência da contagem de 15 pixels é possível notar a maior participação da banda 4 para o intervalo entre 1.400 e 3.150 (diferença de 1.750) em comparação com o intervalo mais fechado das outras bandas: a banda 3, entre 2.085 e 947 (diferença de 1.138), a banda 2, entre 1.960 e 3.065 (diferença de 1.105) e a banda 1, entre 3.220 e 4.044 (diferença de 824).

As amostras do RF estão associadas ao predomínio da componente vegetação com informações dos valores de DN alocadas no infravermelho, nas bandas da borda do vermelho e na banda verde. É importante destacar que alvos com materiais das construções (calçadas e telhados), AG e SE foram correlacionados principalmente com às bandas 1, 2 e 3 (Figura 76).

Figura 76 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de RF. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, indica tendência de elevação das curvas com a concentração do número digital dos pixels amostrados.

Fonte: AUTOR, 2018.

Os histogramas da UP de FL destacaram a banda 5 como aquela que tem a maior variância, indicada pela abertura mais ampla de sua base, sendo a que contribui com maior quantidade de informação. As bandas 1, 2 e 3 têm forma simétrica, distribuição mais fechada, com as modas mais altas indicadas pela concentração da contagem de pixels (> 400) nos valores 3.594, 2.641 e 1.439. A banda 4, apesar da média relativamente mais baixa que a banda 5 tem uma distribuição mais equilibrada dos tons de cinza, entre 1.890 e 3.320, com informações complementares à banda 5 (Figura 77).

As características radiométricas das amostras de FL estão associadas à cobertura vegetal, com alta reflectância no infravermelho próximo, para as folhas verdes saudáveis, e na borda do vermelho (banda 4), verde (banda 2) e vermelho (banda 3) para as folhas amareladas em processo de senescência ou afetada estresse hídrico. Nós associamos também os DN's das bandas 1, 2 e 3 a pequenas porções dispersas de áreas construídas (calçadas e telhados), AG e SE presentes nas amostras de referência (Figura 77).

Figura 77 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de FL. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, destaca o ponto de ruptura no valor de contagem de 30 para apontar a tendência do aumento da concentração do número digital dos pixels amostrados.

Fonte: AUTOR, 2018.

Nos histogramas das amostras de AD a banda 5 é a que têm melhor distribuição da frequência acumulada dos valores de pixel no intervalo de DN (Figura 78). O seu desenho unimodal descreveu uma transição mais suave e maior contribuição de dados caracterizado pelos valores de sua base larga. Nas curvas das bandas 1, 2 e 4 nós verificamos inclinações abruptas com elevada concentração de pixels principalmente entre 1.500 e 3.500 que complementam as informações da banda 5 neste intervalo com menor frequência e ausência de dados.

Os histogramas das amostras de AD são compatíveis com a cobertura vegetal herbácea contínua e homogênea, em formas de relevo onde os processos deposicionais são dominantes. As frações das componentes SE e AG, que integram a dinâmica desta UP, foram associadas as frequências dos pixels nos intervalos das curvas das bandas 1 e 3 (Figura 78).

Figura 78 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de AD. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, com o valor de contagem de 5 pixels aponta a tendência de acúmulo da concentração dos valores de DN nas bandas da imagem.

Fonte: AUTOR, 2018.

Os histogramas das amostras de referência de AG (Figura 79) destacam a participação equivalente das bandas para a alocação dos pixels nas UPs informadas. Nas curvas nós verificamos picos com a concentrações de pixels, frequência entre 55 e 85, seguidos por quedas abruptas, em todas as bandas. Um padrão que definiu amplitudes e larguras semelhantes entre as curvas do gráfico. Em um exemplo com a frequência de dez pixels como baliza para as subidas abruptas, a largura da banda 5 é de 861 (1.504–643) e a da banda azul de 1031 (4.290–3.260).

O valor das médias comparadas, com ordem de grandeza semelhante dos desvios-padrão, tem amplitudes notavelmente maiores que a largura do intervalo numérico dos valores dos pixels que representam. Demonstrando que elas são características de regiões do gráfico que registraram diferentes valores de radiância de AG. Nós traçamos uma correlação com quantidades diferentes de sedimentos e matéria orgânica em suspensão na AG (Figura 79).

Figura 79 – Gráfico e quadro com dados estatísticos das amostras de referência de AG. A linha pontilhada, no fundo do gráfico, indica o valor de 10 pixels como referência para as rupturas de tendência de inclinação das curvas.

Fonte: AUTOR, 2018.

Ao compararmos a capacidade de separação das UPs, pelas amostras de referência, verificamos que os pares FL e RF, SE e AU e AD e CP ocupam o mesmo espaço de níveis de cinza, como visualizado na sobreposição das classes nos pares de bandas da imagem (Figura 80). Esta condição demonstra fraca capacidade de separação entre essas unidades, confirmada pelos seus baixos índices. Já os pares AD e AG, AG e CP e AG e FL ocupam regiões dos gráficos mais afastadas, uma condição favorável para classificação das UPs (Figura 80).

Na figura com as cinco bandas associadas (Figura 80), nós observamos que as informações CP, RF, FL e AD foram mais associadas (melhor explicadas) ao eixo da banda 5. Os dados de AU tiveram distribuição bem equilibrada entre os eixos das bandas 1, 2 e 3, diferente de AG que ficou bem centralizada nas informações da banda 2. Os dados de SE foram agrupados em três conjuntos, um grande e associado à banda 4, e dois menores associados à direção dos eixos da banda 5 e 3 (Figura 80).

As propriedades das amostras de referência foram aplicadas na classificação das imagens e obtiveram os seguintes resultados apresentados nos mapas da Figura 81, Figura 82, Figura 83, Figura 84 e Figura 85.

Figura 80 – Gráficos de espalhamento entre as duas bandas menos correlacionadas da imagem; gráfico de espalhamento considerando todas as dimensões espectrais da imagem; e quadro com os índices de separação entre pares de amostras de referência para as UPs. Nos gráficos a cor cinza representa AU, vermelho SE, amarelo CP, magenta RF, verde FL, azul claro AD e azul escuro AG.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 81 – Mapa da classificação Mahalanobis Distance da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 82 – Mapa da classificação *Maximum Likelihood* da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 83 – Mapa da classificação *Spectral Angle Mapper* da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 84 – Mapa da classificação *Support Vector Machines* da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 85 – Mapa da classificação ISODATA da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.1 Avaliação das Classificações e dos Classificadores

A classificação do MD (Figura 86) alcançou acurácia geral de 68,3% e estatística Kappa de 0,61, um indicativo de forte concordância do resultado. O SE foi o destaque negativo, com as taxas mais elevadas de erros de comissão (85,7%) e omissão (66,7%), observados na linha e coluna total respectivamente. Já a unidade de AG obteve os melhores índices, com a segunda menor taxa de erro de comissão (16,9%) e nenhum erro de omissão.

Figura 86 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação *Mahalanobis Distance* da APRMSP.

UP	AU	SE	CP	RF	FL	AD	AG	Coluna Total
AU	135	1	1	0	3	0	0	140
SE	18	3	0	0	0	0	0	21
CP	4	1	31	1	6	1	0	44
RF	12	2	2	22	25	1	0	64
FL	2	0	11	18	101	0	0	132
AD	9	1	18	5	18	11	0	62
AG	9	1	1	2	1	1	74	89
Linha Total	189	9	64	48	154	14	74	552

Acurácia Geral = 68,3%

Kappa = 0,61
Kappa = 61,5%

Fonte: AUTOR, 2018.

A acurácia geral e a estatística Kappa (Figura 87) da classificação do ML tiveram valores de 68,7% e 0,62. Os principais erros de comissão ocorreram em SE (88,4%) e AD (81,1%). NA UP de AG foram contabilizados a menor quantidade de erros de omissão (3) e de comissão (5).

O resultado da acurácia geral e estatística Kappa (Figura 88) do mapa da classificação do SAM foi semelhante ao do MD. Em relação aos erros de comissão a UP de SE (89,3%) foi atribuída principalmente para AU enquanto AD (86,7%) para CP e FL. Os erros de omissão tiveram índices elevados e equivalentes em SE (66,7%), CP (68,8%) e RF (66,7%). A UP de AG foi aquela com menores índices de erros, 8,9% e 2,7%, para comissão, com valor absoluto de 7, e de omissão, com

valor de absoluto de 2. Apesar da classificação do SAM ser a única com pixels não classificados, eles não foram registrados nas amostras de controle e avaliação.

Figura 87 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação *Maximum Likelihood* da APRMSP.

UP	AU	SE	CP	RF	FL	AD	AG	Coluna Total
AU	133	1	1	3	2	0	0	140
SE	35	5	1	1	1	0	0	43
CP	11	1	34	2	10	0	1	59
RF	2	0	1	22	26	2	2	55
FL	0	0	4	16	104	2	0	126
AD	3	2	23	4	11	10	0	53
AG	5	0	0	0	0	0	71	76
Linha Total	189	9	64	48	154	14	74	552

Acurácia Geral = 68,7% Kappa = 0,62
Kappa = 62,0%

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 88 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação *Spectral Angle Mapper* da APRMSP.

UP	AU	SE	CP	RF	FL	AD	AG	Coluna Total
AU	151	3	1	3	3	0	1	162
SE	22	3	1	2	0	0	0	28
CP	1	1	20	1	4	2	0	29
RF	0	0	1	16	21	1	1	40
FL	0	0	13	21	104	1	0	139
AD	9	2	28	4	22	10	0	75
AG	6	0	0	1	0	0	72	79
Sem Classe	0	0	0	0	0	0	0	0
Linha total	189	9	64	48	154	14	74	552

Acurácia Geral = 68,1% Kappa = 0,61
Kappa = 60,7%

Fonte: AUTOR, 2018.

A acurácia geral da classificação do SVM foi expressivamente melhor que as do MD, ML e SAM (Figura 89). Uma das vantagens desse classificador foram os índices mais baixos de erro de comissão e omissão nas UPs de AU (6,1% e 19%), FL (21,4% e 26%) e AG (2,7% e 4,1%). Mas nas unidades de SE os erros de comissão foram elevados (85%) e seguiram a mesma tendência, já observada nas

outras classificações, de concentração em AU. Também chamou atenção os erros de comissão e omissão de RF (57,1 e 68,8%) confundidos principalmente com FL.

Figura 89 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação *Support Vector Machines* da APRMSP.

UP	AU	SE	CP	RF	FL	AD	AG	Coluna Total
AU	153	3	2	2	3	0	0	163
SE	17	3	0	0	0	0	0	20
CP	14	1	55	6	24	4	1	105
RF	1	0	1	15	13	3	2	35
FL	1	0	4	25	114	1	0	145
AD	1	2	2	0	0	6	0	11
AG	2	0	0	0	0	0	71	73
Linha total	189	9	64	48	154	14	74	552

Acurácia Geral = 75,5%

Kappa = 69,3%

Kappa = 0,69

Fonte: AUTOR, 2018.

O mapa da classificação ISODATA obteve a maior acurácia geral (Figura 90) entre os classificadores analisados. As UPs com menores índices de erro de comissão e omissão foram AU (14% e 10,6%), FL (28,7% e 17,5%) e AG (2,7% e 4,1%). Entretanto SE e AD registraram 100% de erros de comissão e omissão, valor superior ao das outras classificações. Na UP de RF as taxas de erros de comissão (50%) e omissão (64,6) foram elevadas com confusões frequentes com FL. A classificação do ISODATA foi selecionada para a aplicação das métricas de análise da estrutura da paisagem, em função da maior acurácia geral (78,1%) confirmada pelo índice Kappa (0,71).

Considerando um apanhado das classificações nós concluímos que os erros mais frequentes foram a comissão das unidades de SE para AU, RF para FL e AD para FL e CP. Em relação à omissão, RF e SE tiveram valores elevados em todas as classificações. Os índices mais baixos de erro foram, em geral, observados em AG e AU. E os erros nestas duas unidades seriam ainda mais baixos se não houvesse sombras no setor 1 da APRMSP.

A baixa capacidade de separação entre os pares de unidade FL e RF, SE e AU, AD e CP e AD e FL, calculados nas amostras de referência, contribuíram decisivamente para a ocorrência dos erros de comissão e omissão no resultado das

classificações. Indicando que esta propriedade do padrão da APRMSP, analisada em imagens Rapideye, é um fator limitante para a melhora da acurácia geral dos classificadores automáticos.

Figura 90 – Matriz de confusão do Mapa da Classificação ISODATA da APRMSP.

UP	AU	SE	CP	RF	FL	AD	AG	Coluna Total
AU	169	6	4	1	3	0	0	183
SE	6	0	0	0	0	0	0	6
CP	4	1	47	2	11	3	0	68
RF	0	1	2	17	10	4	0	34
FL	5	1	10	27	127	7	1	178
AD	4	0	1	0	3	0	2	10
AG	1	0	0	1	0	0	71	73
Linha total	189	9	64	48	154	14	74	552

Acurácia Geral = 78,1%

Kappa = 0,72
Kappa = 71,7%

Fonte: AUTOR, 2018.

O resultado da votação apontou que o classificador com melhor desempenho para AU e FL foi o ISODATA; para SE o ML; para CP o SVM; para AD e AG o MD; e no RF aconteceu um empate entre MD e ML. Tendo como referência FL, como unidade focal para aplicação das métricas de paisagem, o ISODATA recebeu 127 (82,5%) votos dos 154 possíveis (Figura 91).

Para verificar se a votação pode ser utilizada na seleção de um classificador por unidade focal, de maneira independente da elaboração de uma matriz de confusão por classificação, nós calculamos a acurácia geral das UPs geradas pelos classificadores com melhor desempenho contra a referência da classificação visual (Figura 92).

O resultado da acurácia geral de 83,9% (Figura 92), próximo ao valor tradicionalmente adotado como ideal (85%) para confiabilidade das classificações, indicou que a técnica de votação pode ser utilizada para selecionar classificadores individuais e melhorar a acurácia geral das classificações com base no seu desempenho por UP (Figura 93). Outro fator importante, que corrobora esta conclusão, é a correspondência entre a indicação do ISODATA pela acurácia geral e pela técnica de votação.

Figura 91 – No quadro superior são apresentadas as frequências das UPs nos pontos de controle e avaliação dos mapas da classificação visual, MD, SAM, SVM e ISODATA da APRMS. No segundo quadro estão os índices (%) de acerto das UPs por classificador. O cabeçalho “média” na coluna, incluindo a última célula, é referente às UPs e na linha aos classificadores. O ponto foi utilizado como separador decimal.

UP	VISUAL	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
AU	189	135	133	151	153	169
SE	9	3	5	3	3	0
CP	64	31	34	20	55	47
RF	48	22	22	16	15	17
FL	154	101	104	104	114	127
AD	14	11	10	10	6	0
AG	74	74	71	72	71	71

UP	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA	Média
AU	71.4%	70.4%	79.9%	81.0%	89.4%	78.4%
SE	33.3%	55.6%	33.3%	33.3%	0.0%	31.1%
CP	48.4%	53.1%	31.3%	85.9%	73.4%	58.4%
RF	45.8%	45.8%	33.3%	31.3%	35.4%	38.3%
FL	65.6%	67.5%	67.5%	74.0%	82.5%	71.4%
AD	78.6%	71.4%	71.4%	42.9%	0.0%	52.9%
AG	100.0%	95.9%	97.3%	95.9%	95.9%	97.0%
Média	63.3%	65.7%	59.2%	63.5%	53.8%	61.1%

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 92 – Matriz de confusão das UPs geradas pelos classificadores com melhor desempenho na votação.

UP	AU	SE	CP	RF	FL	AD	AG	Coluna Total
AU	169	1	2	3	3	0	0	178
SE	6	5	0	1	0	0	0	12
CP	4	1	55	2	11	1	0	74
RF	0	0	1	22	10	1	0	34
FL	5	0	4	16	127	0	0	152
AD	4	2	2	4	3	11	0	26
AG	1	0	0	0	0	1	74	76
Linha total	189	9	64	48	154	14	74	552

Acurácia Geral = 83,9%	Kappa = 0,80
	Kappa = 79,6%

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 93 – Gráfico com a acurácia geral das classificações e do resultado da votação, no eixo de barras, sobreposto por um eixo de linhas com a estatística Kappa. O ponto foi utilizado como separador decimal.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.2 Análise Comparada da Estrutura da APRMSP

O resultado do PLAND foi semelhante na classificação visual e do ISODATA. Apesar da diferença aproximada de 111,6 ha, entre as UPs de FL, o valor geral em porcentagem e da área média ponderada (Tabela 12) convergiram para a mesma compreensão de uma paisagem fragmentada, que está abaixo da referência de 60% de cobertura de FL (habitat).

Tabela 12 – Resultado do PLAND para FL e Não-FL, das classificações visual e ISODATA da APRMSP – 2018.

Classificação	UP	Área Total da UP (ha)	Área Média das UP Ponderada pela A total da UP (ha)	PLAND (%)
Visual	FL	6702,92	0,06	26,4
	Não-FL	18646,05	1,64	73,6
ISODATA	FL	6814,5	0,08	26,9
	Não-FL	18535,40	1,62	73,1

Fonte: AUTOR, 2018.

Na comparação dos mapas de classes de A (Figura 94; Figura 95) verificamos o predomínio dos fragmentos pequenos em toda a APRMSP. Ambas as classificações indicaram que os menores fragmentos estão concentrados em ST1, havendo um gradual aumento do tamanho entre ST2 e ST3, onde, os fragmentos com as maiores classes de área são mais frequentes. Este resultado está de acordo com a revisão das referências que já anteciparam a importância das UCs como inibidores da degradação no cinturão verde de São Paulo.

Em uma visão detalhada de um trecho do ST1 (Figura 96) nós verificamos que a classificação ISODATA gerou um maior número de fragmentos pequenos que a classificação visual. E esse processo ocorreu principalmente pela divisão de fragmentos contínuos. Nesse cenário ampliado, em escala (1:20.000) mais próxima do mapeamento realizado, as classificações produziram interpretações incongruentes quanto ao padrão do habitat no local. Conduzindo à uma análise incorreta quanto ao número, área e a intensidade do retalhamento.

Na comparação ampliada, para um trecho do ST3 (Figura 97), nós verificamos um erro em acréscimos de FL que substituíram áreas de RF. Uma condição que produz um resultado equivocado, quanto à conservação da zona de amortecimento do Parque Natural Municipal Jaceguava, em uma análise orientada apenas pela classificação do ISODATA, que indicaria uma disponibilidade de habitat maior que o esperado para a realidade local.

Os mapas com as classes de forma (Figura 98; Figura 99) apresentaram uma correlação geral oposta à tendência das classes de área quanto ao melhor conjunto de atributos para conservação. O resultado das métricas, nas duas classificações, posicionaram os fragmentos com as formas regulares e mais adequada para conservação no ST1, onde a influência das atividades antrópicas da AU domina a dinâmica da paisagem. Além disso, os fragmentos maiores e que mais contribuem com PLAND, nos setores 2 e 3, foram alocados nas classes de forma mais irregulares, 5,00 – 7,99, 8 – 16,10 e 8 – 39,90.

Figura 94 – Mapa de classes de área dos fragmentos florestais da classificação visual da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018

Figura 95 – Mapa de classes de área dos fragmentos florestais da classificação ISODATA da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 96 – A imagem superior detalha um trecho de ST1, do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação visual; e a imagem inferior do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação ISODATA. A localização destaca o contato entre os fragmentos da Cidade Universitária da USP e a AU do distrito do Butantã.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 97 – A imagem superior detalha um trecho de ST3, do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação visual; e a imagem inferior do mapa de classes de áreas dos fragmentos florestais da classificação ISODATA. A região em foco é a zona de amortecimento do PNM-Jaceguava, nas margens do trecho sul do Rodoanel Mário Covas.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 98 – Mapa de classes de forma dos fragmentos florestais da classificação visual da APRMSP.

Figura 99 – Mapa de classes de forma dos fragmentos florestais da classificação ISODATA da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Considerando a abordagem ecológica, a forma apresentou uma correlação positiva quando deveria ser negativa. Uma discrepância que é explicada pelo registro cartográfico do resultado da dinâmica da paisagem. Tendo em vista que os fragmentos pequenos têm uma área central próxima da sua borda, que está delimitada continuamente, formando polígonos aproximadamente regulares em oposição aos fragmentos grandes, que oferecem perímetros alongados para a interação com as outras UPs de Não-Floresta.

Apesar da métrica de forma não revelar o contexto geral esperado é relevante ressaltar o quanto os fragmentos grandes da APRMSP têm forma complexa, em função do retalhamento que expõe faixas estreitas (Figura 98; Figura 99) que facilitam a ruptura, a intensificação da perda de habitat e o aumentam a fragmentação da paisagem.

A correlação entre as variáveis que compõem os resultados das métricas de mancha e forma (Tabela 13; Tabela 14) validaram a análise dos mapeamentos. As tendências gerais da APRMSP, que convergiram nas análises comparadas das classificações visuais e ISODATA, é confirmada pela concentração dos fragmentos nas classes mais baixa (0,06–0,09; 0,10–0,49 e 0,50–4,99), principalmente no segundo intervalo (0,10–0,49), um acúmulo de frequência que não refletiu proporcionalmente na área total dos fragmentos de FL (Tabela 13; Tabela 14).

Enquanto o NP das classes mais baixas (0,06–0,09; 0,10–0,49 e 0,50–4,99) agrupou 95,2% (1.669) das manchas da classificação visual e 98,7% da classificação ISODATA (5.069), em relação à proporção da área, os fragmentos menores corresponderam apenas à 10% (623,8 ha), na classificação visual, e 20,4% (1.388 ha) na ISODATA (Tabela 13; Tabela 14).

Quando comparamos a distribuição dos fragmentos nos intervalos 0,50–4,99; 5,00–99,99 e 100,00–1600,00 observamos uma sobreposição ainda mais forte para a convergência geral da interpretação da APRMSP nas duas classificações, pois os resultados numéricos de NP e da A total são próximos e têm uma relação inversamente proporcional entre NP e o total de A (ha).

Tabela 13 – Frequência e soma da área de NP, da classificação visual da APRMSP, agrupadas em função das classes de áreas – 2018.

Classificação	NP	Classe de A (ha)	A (ha)
Visual	124	0,06–0,09	10,25
	1008	0,10–0,49	239,54
	537	0,50–4,99	374,00
	75	5,00–99,99	1193,49
	9	100,00–1600,00	4501,31
Total	1753	5 classes	6318,6

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 14 – Frequência e soma da área de NP, da classificação ISODATA da APRMSP, agrupadas em função das classes de áreas – 2018.

Classificação	NP	Classe de A (ha)	A (ha)
ISODATA	1650	0,06–0,09	125,16
	2849	0,10–0,49	541,50
	570	0,50–4,99	721,39
	61	5,00–99,99	908,64
	7	100,00–1600,00	4517,79
Total	5069	5 classes	6814,5

Fonte: AUTOR, 2018.

Na análise da relação entre os valores de SHAPE, NP e das classes de área é possível observar que em ambas as classificações os valores iniciam com uma amplitude baixa nos intervalos com os menores fragmentos e sucessivamente vai ocorrendo um descolamento que aumenta a diferença (Figura 100).

Os condicionantes que explicam a discordância das análises em detalhe são mais proeminentes. Sendo fácil checar que na classificação ISODATA o NP das classes mais baixas (0,06–0,09 e 0,10–0,49) foi superestimado (Tabela 13; Tabela 14) em aproximadamente 4 vezes na comparação com a classificação visual. Em relação à forma, os índices mínimo e máximo do ISODATA, nas classes 5,00–99,99 e 100,00–1600,00, correspondem à pelo menos o dobro do verificado na classificação visual (Figura 100).

Figura 100 – O gráfico superior mostra os valores da classificação visual de NP e SHAPE agrupados nas classes de área. No gráfico inferior são os valores de NP e SHAPE, da classificação ISODATA, que estão agrupados pela área. O ponto foi utilizado para separação decimal e os gráficos apresentados em escala logarítmica.

Fonte: AUTOR, 2018.

Os mapas de classes da importância dos fragmentos florestais para a conectividade dos setores da APRMSP destacam que no ST1 os fragmentos maiores são mais importantes para a conectividade geral de FL. A disponibilidade interna de habitat e a maior proximidade contribuem para esses índices mais elevados até o limite da classe entre 7 e 49,9%. É interessante notar o “deserto” de fragmentos importantes na faixa sul do ST1, principalmente nas imediações do início da área de proteção aos mananciais (Figura 101; Figura 102).

Figura 101 – Mapa de classes da importância dos fragmentos florestais para a conectividade da classificação visual dos setores da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 102 – Mapa de classes da importância dos fragmentos florestais para a conectividade da classificação ISODATA dos setores da APRMSP.

Fonte: AUTOR, 2018.

A comparação específica entre a classificação visual e ISODATA, no ST1, tem como principal diferença o deslocamento da melhor classe de IIC dos fragmentos da Cidade Universitária da USP, para o extremo oeste na divisa com Osasco (Figura 101; Figura 102).

No ST2 a diferença entre a classificação visual e a ISODATA é bastante expressiva, na primeira predomina uma condição heterogênea com 1 fragmento muito importante (50 a 73,5%) e 2 importantes (7 a 49,9%) rodeados por blocos de fragmentos intermediários (1 e 6,9%) e baixos (0,000004–0,09%; 0,1–0,9%); já na classificação ISODATA a condição foi mais homogênea, concentrando os fragmentos exclusivamente nas classes muito baixa, baixa e intermediária (0,000004–0,09%; 0,1–0,9% e 1–6,9%).

A grande variação no ST2, da classificação ISODATA, foi causada por uma suposta fragmentação, com a perda de habitat e aumento das distâncias entre os fragmentos, que diminuiu os fluxos internos e externos.

No ST3 as classificações foram congruentes e indicaram o predomínio da importância dos três blocos de fragmentos das classes com maior IIC, rodeados por fragmentos com importância predominantemente baixa e muito baixa. A menor importância dos fragmentos ao redor desses blocos está relacionada com o isolamento relativo e a menor disponibilidade de área, em uma configuração de paisagem que os grandes blocos estabeleceram conexões funcionais (< 500 m), sem a necessidade de mediação dos fragmentos menores.

A análise da quantificação (Tabela 15; Tabela 16) da frequência de NP, em cada categoria de IIC para toda a APRMSP, indica uma tendência geral de distribuição equivalente nas frequências de 0,10 e 0,9% até 50 e 73,5% e uma grande discrepância em 0,000004 e 0,09%.

É importante fazer ponderações quanto à influência dos procedimentos e processos intrínsecos ao cálculo das métricas. A conversão do arquivo de polígonos (*shapefile*) para o formato matricial ou *raster* criou um arquivo com valor de NP (1.753) menor que o da classificação visual (1.758). Isso ocorreu porque a decisão de incluir ou não um pixel em Floresta e Não-Floresta depende da proporção de cada uma dessas unidades na área de 25 m² do pixel. Tomando como exemplo um pixel de borda, que tenha 51% de Não-Floresta e 49% de Floresta, será classificado inteiramente como Não-Floresta. Essas interações são responsáveis pela diferença entre a área total da soma das manchas individuais 6318,6 ha (Tabela 13) e a obtida

no cálculo do PLAND 6702,9 ha (Tabela 12), que registrou o valor subjacente não vinculado às manchas individuais de FL.

Tabela 15 – Frequência de NP, da classificação visual da APRMSP, agrupadas em função das classes de IIC – 2018.

Classificação	NP	Classe de IIC (%)
Visual	1416	0,000004–0,099999
	287	0,100000–0,999999
	45	1,000000–6,999999
	8	7,000000–49,999999
	2	50,000000–73,550000

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 16 – Frequência de NP, da classificação ISODATA da APRMSP, agrupadas em função das classes de IIC – 2018.

Classificação	NP	Classe de IIC (%)
ISODATA	5581	0,000004–0,099999
	279	0,100000–0,999999
	20	1,000000–6,999999
	8	7,000000–49,999999
	2	50,000000–73,550000

Fonte: AUTOR, 2018.

Em relação à classificação do ISODATA como o formato original era quadricular, as áreas foram praticamente idênticas (Tabela 12; Tabela 14). Entretanto esse desenho que mantém a conformidade da A (ha) foi muito mais sensível ao cálculo do índice de forma dada à elevada irregularidade das bordas.

5 CONCLUSÃO

A análise do resultado da estrutura da paisagem revelou que o Mapa da Classificação ISODATA prejudicou a interpretação da APRMSP nas métricas de mancha (A), classe (NP), forma e teoria dos grafos (IIC). Apenas o cálculo do PLAND e a tendência geral indicada nos agrupamentos das classes dos mapas, para a representação da paisagem, foram coerentes com a referência dos valores obtidos pelo Mapa da Classificação Visual da APRMSP.

Os procedimentos de Sensoriamento Remoto e da Ecologia da Paisagem que orientaram a definição da APRMSP, os levantamentos em uma escala adequada para o planejamento (1:10.000), a quantidade e características das UPs (o número e tipo de classes) utilizadas na representação da paisagem, as técnicas de interpretação visual, os métodos e técnicas de avaliação das classificações e dos classificadores e as métricas de estrutura da paisagem foram adequados porque permitiram padronizar os testes, analisar a estrutura da APRMSP e antecipar erros na classificação.

Foi possível comprovar que as variações de acurácia interferiram nos padrões da APRMSP e foram cumulativas na espacialização dos resultados nos mapas dos modelos de habitat (FL) e não-habitat (Não-Floresta). Indicando que as métricas de Área da Mancha, Número de Manchas, Índice de Forma e Índice Integral de Conectividade são muito sensíveis à qualidade do mapeamento e poderão produzir resultados que apoiam análises incorretas ou inadequadas que serão transferidas para as decisões do planejamento ambiental e do ordenamento territorial.

Reconhecemos que a elaboração de mapas, por meio de classificações visuais, representa um custo elevado de recursos e tempo no diagnóstico, levantamento e monitoramento ambiental. E muitas vezes é inviável realizar quaisquer esforços para produzir mapas, principalmente, para monitorar a dinâmica da paisagem. Com base no resultado da técnica de votação, confirmada pela análise da acurácia, é possível melhorar a classificação da paisagem para o cálculo das métricas por meio de classificações híbridas, utilizando o ISODATA e o posterior agrupamento ou correção visual das classes.

Outra alternativa é a utilização de grupos de classificadores com melhor desempenho por classe de interesse para gerar uma classificação fusionada. Na

APRMSP o MD obteve o melhor resultado para AD e AG, o ISODATA para FL e AU, o SVM para CP e o ML para RF e SE.

Os classificadores avaliados tiveram acurácia inferior ao verificado em estudos já publicados. Os principais responsáveis por essa diferença foram os atributos dos componentes e o padrão da APRMSP. O ISODATA e o SVM geraram as classificações com a maior acurácia, 78,1 e 75,5% respectivamente.

A análise dos resultados das métricas indicaram que ST1 tem a menor disponibilidade de habitat sendo dominado por fragmentos pequenos e isolados, no ST2 predomina uma situação intermediária com fragmentos médios e mais próximos e o ST3 é o que reúne as condições mais adequadas para manter e implementar a conservação.

No padrão da APRMSP o ST3, que forma um contínuo até o Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) é a principal fonte de fluxo indivíduos e esporos para manutenção da dinâmica natural e conservação dos outros setores. Mas a presença da represa e da AU, principalmente no sul do ST1, tornam difíceis as estratégias para melhorar a conectividade, além do avanço da urbanização já ser uma ameaça para a manutenção da disponibilidade de habitat em ST3.

As imagens RapidEye oferecem uma alternativa adequada para o planejamento por fornecerem uma escala segura para generalizações. Tanto na classificação visual quanto na automática foi mais fácil separar o bloco de UPs com cobertura vegetal (FL, RF, CP e AD) de AG, AU e SE. As maiores dificuldades foram verificadas principalmente nos pares específicos de AU e SE e de FL e RF.

REFERÊNCIAS

ABBAS, W. et al. K-Means and ISODATA clustering algorithms for landcover classification using remote sensing. **Sindh Univ. Res. Jour. (Sci. Ser.)**, Jamshoro (PAK): Education Commission (HEC), v. 48, n. 2, p. 315-318, 2016.

AB'SÁBER, A. O sítio urbano de São Paulo. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C.; LISBOA, M. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball Edições Ltda, 2010a, p. 180-214. 1 CD-ROM.

_____. Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C.; LISBOA, M. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball Edições Ltda, 2010b, não paginado. (Seleção de Artigos). 1 CD-ROM.

_____. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C.; LISBOA, M. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball Edições Ltda, 2010c, p. 1-12. 1 CD-ROM.

_____. O domínio dos mares de morros no Brasil. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C.; LISBOA, M. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball Edições Ltda, 2010d, p. 1-9. 1 CD-ROM.

_____. O mosaico primário de matas e cerrados do Planalto Paulistano. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C.; LISBOA, M. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball Edições Ltda, 2010e, p. 1-3. 1 CD-ROM.

_____. Domínio tropical atlântico. In: MODENESI-GAUTTIERI, M.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C.; LISBOA, M. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball Edições Ltda, 2010f, não paginado. (Seleção de Artigos). 1 CD-ROM.

AGUIAR, K. Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) – Histórico e prerrogativas legais. In: _____. **Análise da abordagem geomorfológica em Estudos de Impactos Ambientais (Eias) de projetos hidrelétricos apresentados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), no período de 1993 a 2014**. 2014. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2014.

ALBUQUERQUE, R. **Monitoramento da cobertura do solo no entorno de hidrelétricas utilizando o classificador SVM (Support Vector Machines)**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (EP – USP), São Paulo, 2012.

ALMEIDA, F. **Fundamentos geológicos do relêvo paulista**. São Paulo: Universidade de São Paulo (USP); Instituto de Geografia, 1974. (Série Teses e Monografias, 14).

_____. The system of continental rifts bordering the Santos basin, Brazil. **An. Acad. Bras. Ciênc.** (Suplemento), Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, v. 48, p. 14-26, 1976.

ALVES FILHO, E.; CAMPOS, W.; FURLAN, S. Ecologia da paisagem e conservação de florestas tropicais. **Revista Okara: Geografia em debate**, João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba (UFPB), v. 9, n. 2, p. 195-215, 2015 (Edição Especial).

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=24>. Acesso em: 06 jul. 2017.

ANDERSON, J. et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. **GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 964**, Washington (USA): UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE. p. 1-27, 1983.

ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. **Oikos**, Copenhagen (DNK): v. 71, n. 3, p. 355-366, 1994.

ARNTZ, K. Landscape: a forgotten legacy. **Area**, Michigan (USA); New York (USA), v. 31, n. 3, p. 297-300, set. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

_____. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002b.

_____. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 2012a.

_____. **NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro, 2012b.

_____. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Clima urbano. Disponibiliza dados e informações técnicas referentes ao Município de São Paulo. Disponível em: <<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/pagina.php?id=21>>. Acesso em: 05 maio 2017.

AZEVEDO, T. O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas. In: TARIFA, J.; AZEVEDO, T. (Org.). **Os climas na cidade de São Paulo**. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura de Extensão; Universidade de São Paulo (USP); Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB-FFLCH-USP); Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (LCB-FFLCH-USP), 2001. p. 71-93. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos – 4).

BARRETTO, E.; CATHARINO, E. Florestas maduras da região metropolitana de São Paulo: diversidade, composição arbórea e variação florística ao longo de um gradiente litoral-interior, Estado de São Paulo, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 445-469, jul./set. 2015.

BITAR, O. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 193 f. Tese (Doutorado Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (EP – USP), São Paulo, 1997.

BLACKBRIDGE. Delivering the world. **Satellite Imagery Product Specifications**. Version, 6.1. Berlim (DEU); Alberta (CAN): BlackBridge. 2015. Disponível em: <www.blackbridge.com/rapideye/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf>. Acesso em 15 fev. 2016.

BOER, P.; SMITH, D. Orbital forcing and cyclic sequences. In: _____. (Ed.). **Orbital forcing and cyclic sequences**. Oxford (GBR): Blackwell Scientific Publications, 1994, p. 1-14.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) da Natureza e dá outras providências**, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 13 dez. 2016.

_____. _____. Geoprocessamento. Download de dados geográficos. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BRIEM, G., BENEDIKTSSON, J., SVEINSSON, J. Multiple classifiers applied to multisource remote sensing data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Macau (CHN), v. 40, n. 10, p. 2291-2299. out. 2002.

BROWN, J.; LOMOLINO, M. **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC - Editora, 2006.

BUENO, E. **A área urbana e as áreas naturais da Região Metropolitana de São Paulo**: de compartimentos fisiográficos a categorias geográficas. 2013. 320 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2013.

CABACINHA, C.; CASTRO, S. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 257, n. 10, p. 2157-2165, abr. 2009.

CAMPBELL, J.; WYNNE, R. **Introduction to remote sensing**. 5 ed. New York (USA): The Guilford Press, 2011.

CAMPOS, W. **Análise e mapeamento da estrutura da paisagem da Ilha Comprida, no litoral sul de São Paulo**. 2013. 220 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2013. 2 v.

_____. et al. Avaliação de classificadores de imagem de satélite a partir do uso de uma técnica de votação. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, v. 68, n. 8, p. 1653-1664, set./out. 2016.

CHAZDON, R. et al. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. **Ambio**, Oslo (NOR): Royal Swedish Academy of Sciences; Springer Link, v. 45, n. 5, p. 538-550, mar. 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec; Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 1979. (Geografia: Teoria e Realidade).

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2002.

CLEVERS, J. **Lectures remote sensing: classification**. Wageningen (NLD), 2010. Conferências sobre sensoriamento remoto do Centre of Geo-Information, Environmental Sciences, Wageningen University & Research (WUR).

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO (SABESP). Mananciais. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=31>>. Acesso em: 2 maio 2017a.

_____. Reserva do Morro Grande, na Grande SP, serve de cenário para o filme 'Xingu'. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/Releases-Detalhes.aspx?secaold=193&id=3897>>. Acesso em: 2 maio 2017b.

CONGALTON, R. Remote sensing: an overview. **GIScience & Remote Sensing**, Abingdon (GBR): Taylor & Francis Group, v. 47, n. 4, p. 443-459, 2010.

_____; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2. ed. Boca Raton (USA); London (GBR): CRC Press – Taylor & Francis Group, 2009.

_____; MEAD, R. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS)**, Maryland (USA): American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, v. 49, n. 1, p. 69-74, jan. 1983.

COONES, P. Landscape studies in practice. In: ROGERS, A.; VILES, H.; GOUDIE, A (Ed.). **The student's companion to geography**. Oxford (GBR); Cambridge (USA): Blackwell, 1999a. p. 213-220.

_____. Landscape geography. In: ROGERS, A.; VILES, H.; GOUDIE, A (Ed.). **The student's companion to geography**. Oxford (GBR); Cambridge (USA): Blackwell, 1999b. p. 70-85.

CROSTA, A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Campinas (UNICAMP), 1999.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. 2000. 232 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências (IGC – USP), São Paulo, 2000.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Parque Nascentes do Tietê. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=585:parque-nascentes-do-tiete&Itemid=53>. Acesso em: 2 maio 2017a.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Parque Ecológico do Tietê. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=564:parque-ecologico-do-tiete-pq&catid=48:noticias&Itemid=53>. Acesso em: 2 maio 2017b.

DALLOZ, M. et al. Incorporating landscape ecology metrics into environmental impact assessment in the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 15, n. 3. p. 216-220, set. 2017.

DATAGEO: sistema ambiental paulista. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: jul./ago. 2016. Escala aproximada de visualização: 1:20.000.

DELABIO, J. **Ecofisiologia comparativa entre gramíneas nativas e gramíneas exóticas invasoras em um cerrado campo sujo, SP**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. (IB-USP), São Paulo, 2014.

DELPOUX, M. Ecossistema e paisagem. Tradução May Christine Modenesi. **Revista do Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo (IG – USP)**, São Paulo, n. 7, p. 1-23, 1974.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Ministério de Minas e Energia. Anuário mineral estadual: 2015 ano base 2014 São Paulo. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

DIAMOND, M. The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for design of natural reserves. **Biological Conservation**, New York (USA), v. 7, n. 2, p. 129-146, fev. 1975.

DISLICH, R. **Análise da vegetação arbórea e conservação na Reserva Florestal da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira”, São Paulo, SP.** 2002. 258 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

_____.; CERSÓSIMO, L.; MANTOVANI, W. Análise da estrutura de fragmentos florestais no Planalto Paulistano – SP. **Revta brasil. Bot.**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 321-332, set. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Serviço de Produção de Informação, 1999.

_____. Monitoramento por Satélite. Satélites de monitoramento: RapidEye. Disponível em: <[http:// www.sat. cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_rapideye.php](http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_rapideye.php)>. Acesso em: 15 fev. 2016.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A (EMPLASA). Unidade de Cartografia (UCA). São Paulo: Formato Digital (*Shapefile*), 2002. 1 mapa de uso e ocupação do solo da RMSP, colorido. Escala: 1:25.000.

_____. Secretaria Estadual da Casa Civil. Região metropolitana de São Paulo. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS® Blog. On map scale and raster resolution. Disponível em: <<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/on-map-scale-and-raster-resolution/?rmedium=redirect&rsource=blogs.esri.com%2Fesri%2Farcgis%2F2010%2F12%2F12%2Fon-map-scale-and-raster-resolution>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review In Advance**, Palo Alto (USA): Evolution and Systematics, v. 34, p. 487-515, 27 jul. 2003.

FAITH, D. Environmental diversity (ED) as surrogate information for species-level biodiversity. **Ecography**, New Jersey (EUA): John Wiley & Sons In., v. 26, n. 3, p. 257-383, jun. 2003.

FERREIRA, M. **Estudo do Balanço de energia na superfície da cidade de São Paulo.** 2010. 183 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG – USP), São Paulo, 2010.

FLORENZANO, T. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FOODY, G. Harshness in image classification accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon (GBR): Taylor & Francis Group, v. 29, n. 11, p. 3137-3158, jun. 2008.

FORMAN, R.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York (USA): John Wiley & Sons, Inc. 1986.

FUNARO, V. (Coord.) et al. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP**: Parte I (ABNT). São Paulo: Universidade de São Paulo (USP). 3. ed. 2016 (Cadernos de Estudos, 9). Disponível em: <<http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/111/95/491-2>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). PIB regional: Produto Interno Bruto 4º trimestre de 2016. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/midia/2016/06/PIB_Regional_2016_4trim.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2017.

FURLAN, S. Paisagens sustentáveis: São Paulo e sua cobertura vegetal. In: CARLOS, A.; OLIVEIRA, A. (Org.). **Geografias de São Paulo**: a metrópole do século XXI. São Paulo: Editora Contexto, 2004. p. 255-283.

GALVÃO, R. **Expansão urbana e proteção ambiental em metrópoles brasileiras 1810-2010**. 2011. 229 f. Dissertação (Mestrado em História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU – USP), São Paulo, 2011.

GARTLAND, L. What is a heat island? In: _____. **Heat island**: understanding and mitigating heat in urban areas. Trowbridge (GBR): Cromwell Press, 2008, p. 1-14.

GEO CATÁLOGO: MMA: Catálogo de imagens de satélite Rapideye do Ministério do Meio Ambiente: acessível para todos os órgãos públicos: federais, estaduais, municipais e universidades públicas. Acesso em: 14 set. 2015 a 10 out. 2015.

GODLEWSKA, A.; MARTIN, J. Critical concepts and controversies. Map. In: AGNEW, J.; LIVINGSTONE, D. (Ed.). **The SAGE handbook of geographical knowledge**. London (GBR); Los Angeles (USA): SAGE Publishing, 2011. p. 357-367.

GOOGLE Earth: catálogo de imagens disponibilizado pelo programa. Acesso em: jul./ago. 2016. Escala aproximada de visualização: 1:5.000.

GOOGLE Earth: catálogo de imagens disponibilizado pelo programa. Acesso em: abr./maio/jun. 2018. Escala aproximada de visualização: 1:5.000.

GORTE, B. **Supervised image classification**. In: STEIN, A.; VAN DER MEER, F.; GORTE, B (EE.). Spatial statistics for remote sensing, Dordrecht (NLD): Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 153-163.

GUERRA, A.; GUERRA, A. J. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUSTAFSON, E. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? **Ecosystems**, Cham (CHE): Springer Link, v. 1, n. 2, p. 143-156, nov. 1998.

HAAS, R. **Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical, no litoral de São Paulo**. 2002. 87 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG – USP), São Paulo, 2002.

HAIGH, J. Geography and general system theory, philosophical homologies and current practice. **Geoforum**, Oxford (GBR): v. 16, n. 2, p. 191-203, 1985.

HARRIS GEOESPATIAL SOLUTIONS. Forum Products ENVI. SVM combination method. Disponível em: <<http://www.harrisgeospatial.com/Support/Forums/tabid/2342/aft/2365/Default.aspx>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

HOECHSTETTER, S. et al. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure – a proposal to modify the existing set of landscape metrics. **Landscape online**, Eberswalde (DEU): Official Journal of International Association for Landscape Ecology (IALE-D), v. 3, p. 1-14, fev. 2008.

HUGGET, R.; PERKINS, P. Landscape: the face of Geography. Landscape as form process and meaning. In: MATTHEUS, J.; HEBERT, D. (Org.). **Unifying Geography: common heritage, shared future**. Oxfordshire (GBR): Routledge; Abingdon (USA): Taylor & Francis Group, 2004. p. 224-239.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais Climatologicas](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais_Climatologicas)>. Acesso em: 3 mar. 2017.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais: Banco de Dados de Imagens. Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/repositorio5/goes12/goes12_web/ams_col_baixa/2011/01/S11219895_201101142000.jpg. Acesso em: 25 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Geociências. Departamento de Cartografia. **Noções básicas de cartografia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1998. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 5).

_____. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 1).

_____. Dados cartográficos, estatísticos, socioeconômicos e territoriais do Estado e Municípios de São Paulo. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/sao-paulo/panorama>>. Acesso em: 29 mar. 2017a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Contas nacionais: PIB – valores correntes. Disponível em: <<http://brasil.emsintese.ibge.gov.br/contas-nacionais/pib-valores-correntes.html>>. Acesso em: 30 mar. 2017b.

_____. Área territorial brasileira. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default.shtm>>. Acesso em: 27 mar. 2017c.

_____. Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/>>. Acesso em: 27 mar. 2017d.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2 v. (Monografias 5).

IWAI, O.; QUINTANILHA, J. Utilização de imagens de satélite como ferramenta de auxílio ao planejamento urbano. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago (CHL): Revista da Pontificia Universidad Católica de Chile, n. 34, p. 66-82, dez. 2005.

JENSEN, J. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2 ed. Tradução José Carlos N. Epiphanyo (Coord.). São José dos Campos: Parêntese. 2009.

KAVZOGLU, T.; COLKESEN, I. A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 11, n. 5, p. 352-359, jun. 2009.

KHATAMI, R.; MOUNTRAKIS, G.; STEHMAN, S. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: general guidelines for practitioners and future research. **Remote Sensing of Environmental**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 177, p. 89-100, fev. 2016.

KLINK, H. Geoecologia e regionalização natural: bases para pesquisa ambiental. Tradução Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista do Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo (IG – USP)**, São Paulo: IG – USP, n. 17, p. 1-29, 1981.

KRUSE, F. A. et al. The spectral image processing system (SIPS) interactive visualization and analysis of imaging Spectrometer Data. **Remote Sensing of Environmental**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 44, n. 2-3, p. 145-163, out. 1993.

LAMONICA, L. Avaliação de impacto ambiental. In: _____. **Avaliação da qualidade do diagnóstico do meio biótico de EIAs do Estado de São Paulo**. 2016. 167 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH – USP), São Paulo, 2016.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

LATOUR, B. Circulating reference: sampling the Soil in the Amazon Forest. In: _____. **Pandora's hope: essays on the reality of science studies**. 2. ed. Massachusetts (USA); London (GBR): Harvard University Press, 2000. p. 1-79.

LAURENCE, W. Hyper-disturbed parks: edge effects and ecology of isolated rainforest reserves in tropical Australia. In: _____. BIERREGAARD, R. (Ed.) **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago (USA): The University of Chicago Press, 1997. p. 71-79.

LEMOES, D. **Estudo sobre um classificador adaptativo para análise de dados de alta dimensionalidade com um conjunto limitado de dados de treinamento**. 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEPSRM – UFRGS), Porto Alegre, 2003.

LILLESAND, T.; KIEFER, R.; CHIPMAN, J. Digital image interpretation and analysis. In: _____. _____. _____. **Remote sensing and image interpretation**, Bellingham 5 ed. Danvers (USA): John Wiley & Sons Inc., 2004. p. 491-637.

LIMA, E. **O levantamento pioneiro da SARA Brasil: histórico, tecnologia empregada e avaliação dos produtos**. 2013. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (EP – USP), São Paulo, 2013.

LINDENMAYER, D.; FISCHER, J. Landscape models for use in studies of landscape change and habitat fragmentation. In: LINDENMAYER, D.; HOBBS, R (Ed.). **Managing and designing landscapes for conservation: moving from perspectives to principles**. Oxford (GBR); Malden (USA): Blackwell Publishing Ltd; London (GBR): Zoological Society, 2007a. p. 35-48.

_____. Edge effects. In: _____. _____. **Managing and designing landscapes for conservation: moving from perspectives to principles**. Oxford (GBR); Malden (USA): Blackwell Publishing Ltd; London (GBR): Zoological Society, 2007b. p. 165-178.

LINDENMAYER, D. et al. On the use of landscape surrogates as ecological indicators in fragmented forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 157, n. 3, p. 203-216, abr. 2002.

_____. A checklist for ecological management of landscapes for conservation. **Ecology Letters**, New Jersey (EUA): John Wiley & Sons Inc., v. 11, n. 1, p. 78-91, jan. 2008.

LIU, J. et al. Using phenological metric and the multiple classifier fusion method to map land cover types. **Journal of Applied Remote Sensing**, Bellingham (USA): SPIE, v. 8, n. 1, p. 1-14, jan. 2014.

LU, D.; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon (GBR): Taylor & Francis Group, v. 28, n. 5, p. 823-870, mar. 2007.

LUPA – LEVANTAMENTO CENSITÁRIO DAS UNIDADES DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). Instituto de Economia Agrícola. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dados/municipais.php>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

LUSTIG, A. et al. Towards more predictable and consistent landscape metrics across spatial scales. **Ecological Indicators**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 57, p. 11-21, mar. 2015.

LUZ, R. **Geomorfologia da planície fluvial do rio Pinheiros entre os bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim, São Paulo (SP)**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (FFLCH – USP), São Paulo, 2010.

_____. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização**. 2015. 246 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (FFLCH – USP), São Paulo, 2015.

MACARTHUR, R.; WILSON, E. **The theory of Island Biogeography**. New Jersey (USA): Princenton University Press, 1967.

MANFRÉ, L. **Identificação e mapeamento de áreas de deslizamento associadas a rodovias utilizando imagens de sensoriamento remoto**. 2015. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica (EP – USP), São Paulo, 2015.

_____; NÓBREGA, R.; QUINTANILHA, J. Regional and local topography subdivision and landform mapping using SRTM-derived data: a case study in southeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, Berlin (DEU): Springer-Verlag, v. 73, n. 10, p. 6457-6475, out. 2014.

_____; _____. Evaluation of multiple classifier systems for landslide identification in landsat thematic mapper (TM) images. **International Journal of Geo-Information (ISPRS)**, Basel (CHE): IJGI Editorial Office, v. 5, n. 9, p. 2-17. 2016.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP, v. 14, p. 39-46, 2001.

MATHER, P. M.; KOTCH, M. **Computer processing of remotely-sensed images**. Oxford (GBR): John Wiley & Sons, Ltd., 2011.

MATTHEUS, J.; HEBERT, D. Geographical methodologies. Introduction. In: _____; _____ (Org.). **Unifying Geography**: common heritage, shared future. Oxfordshire (GBR): Routledge; Abingdon (USA): Taylor & Francis Group, 2004a. p. 21-32.

_____; _____. Landscape: the face of Geography. Introduction. In: _____; _____ (Org.). **Unifying Geography**: common heritage, shared future. Oxfordshire (GBR): Routledge; Abingdon (USA): Taylor & Francis Group, 2004b. p. 217-223.

MAUTNER, Y. A periferia como fronteira de expansão do capital. In: DEÁK, C.; SCHIFFER, S. (Org.). **O processo de urbanização no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP); Fundação para a Pesquisa ambiental (FEPAM), 2004. p. 247-259.

MAZER, A. Image processing software for imaging spectrometry data analysis. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 24, n. 1 p. 201-210, fev. 1988.

MCGARIGAL, K. **Fragstat help**. Amherst (USA): University of Massachusetts, 2015. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>>. Acesso: 11 dez. 2015.

_____; MARKS, B. **Fragstats**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Corvallis (USA): United States Department of Agriculture; Pacific Northwest Research Station (PNW); Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351, 1995. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/gtr_351.pdf>. Acesso: 14 jul. 2012.

MELLO-THÉRY; CORREIA, 2009. Pressão urbana em áreas de floresta: história e conflitos políticos da proteção ambiental. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará Campus Pici, v. 8, n. 16, p. 33-44, maio/ago. 2009. ISSN 1984-2201. DOI: 10.4215/RM2009.0816.0003.

MENESES, P.; ALMEIDA, T. Classificação pixel a pixel. In: _____; _____ (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB; CNPQ, 2012. p. 191-208.

MERZOUGUI, M.; NASRI, M.; BOUALI, B. ISODATA classification with parameters estimated by evolutionary approach. **IEEE Xplore Transactions on Systems: Theories and Applications (SITA)**, Rabat (MAR), p. 1-7, jul. 2013.

METZGER, J. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 71, n. 3-I, p. 445-463, 1999.

_____. Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. **Ecological Applications**, Washington, DC (USA): Ecological Society of America (ESA), v. 10, n. 4, p. 1147-1161, ago. 2000.

_____. O que é ecologia de paisagem? **Biota Neotropica**, Campinas, São Paulo, v.1, n.1/2. 2001.

METZGER, J. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, PR: Editora Universidade Federal do Paraná. 2006, p. 423-453.

_____; DÉCAMPS, H. The structural connectivity threshold hypothesis in conservation biology at the landscape scale. **Acta Oecologica**, Philadelphia (USA): ELSEVIER, v. 18, n. 1, p. 1-12, 1997.

METZGER, J. et al. Uso de índices de paisagem para a definição de ações. In: São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no estado de São Paulo. São Paulo: FAPESP, 2008. p. 122-129.

METZGER, J. et al. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 142, n. 6, p. 1166-1177, jun. 2009.

MINOR, E.; URBAN, D. Graph theory as a proxy for spatially explicit population models in conservation planning. **Ecological Applications**, Washington, D.C. (USA): Ecological Society of America (ESA), v. 17, n. 6, p. 1771-1782, set. 2007.

_____; _____. A graph-theory framework for evaluating landscape connectivity and conservation planning. **Conservation Biology**, New Jersey (USA): Wiley, v. 22, n. 2, p. 297-307, abr. 2008.

MIRRA, A. **Impacto ambiental**: aspectos da legislação brasileira. 3 ed. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2006.

MONTEIRO, C. **Geossistema**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000. (Coleção Novas Abordagens, 3).

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. 385 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2010.

MOUNTRAKIS, G.; IM, J.; OGOLE, C. Support vector machines in remote sensing: a review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 66, n. 3, p. 247-259, maio. 2011.

NOVO, E. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

OLIVEIRA, J. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 1999. (Boletim Científico, n. 45).

PAL, M.; MATHER, P. Support vector machines for classification in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon (GBR): Taylor & Francis Group, v. 26, n. 5, p. 1007-1011, mar. 2005.

PÄLIKE, H. Orbital variation (including Milankovitch Cycles). In: SELLEY, R.; COCKS, L.; PLIMER, I. (Ed.). **Encyclopedia of Geology**. London (GBR): ELSEVIER ACADEMIC PRESS, 2005, p. 410-421.

PASCUAL-HORTA, L.; SAURA, S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. **Landscape Ecology**, Gewerbestrasse (CHE): Springer, v. 21, n. 7, p. 959-967, out. 2006.

PEREIRA FILHO, A. et al. Enchentes na Região Metropolitana de São Paulo: aspectos de mesoescala e avaliação de impactos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: cbmet.com, 2004, não paginado. Disponível em: <http://www.cbmet.com/busca.php>. Acesso em: 29 mar. 2017.

PEREIRA, A.; AGELOCCI, L.; SENTELHAS, P. Meteorologia agrícola. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas; Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ – USP), 2007. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf. Acesso em: 2 fev. 2009.

PERKINS, C. Mapping and graphicacy. In: CLIFFORD, N.; FRENCH, S.; VALENTINE, G. (Ed.). **Key methods in Geography**. London (GBR); Los Angeles, (USA): SAGE Publishing, 2011. p. 350-372.

POLYCHRONAKI, A. et al. Integrating RapidEye and ancillary data to map alpine habitats in South Tyrol, Italy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 37, p. 65-71, Dec. 2014.

PRADO, L. **Oscilação interdecadal do Pacífico e seus impactos no regime de precipitação no Estado de São Paulo**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG – USP), São Paulo, 2010.

_____. et al. Climatologia da precipitação no Estado de São Paulo no período de 1947 a 1997. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: cbmet.com, 2006, p. 1-5. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-9ae7be68cc59abf452888cbbf96ffebf.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2017.

PREFEITURA DE OSASCO. Cidade de Osasco. Mapa da Cidade. Disponível em: <http://prefeitura.osasco.sp.gov.br/InternaCidade.aspx?ID=20>. Acesso em: 14 jan. 2016.

PREFEITURA DE SÃO PAULO (PMSP). Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. “**Atlas ambiental do município de São Paulo**”: fase I – diagnóstico e bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no município de São Paulo. São Paulo, 2002. 203 p. (Relatório Final, julho / 2002).

_____. Secretaria Municipal das Prefeituras Regionais. Dados demográficos dos distritos pertencentes às Prefeituras Regionais. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/subprefeituras/dados_demograficos/index.php?p=12758>. Acesso em: 14 fev. 2016a.

_____. GeoSampa. Mapa Digital da Cidade. Disponível em: <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/SBC.aspx#>>. Acesso em: 14 fev. 2016b.

_____. SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (SEMPA). INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Carta Geotécnica do Município de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA); Departamento de Educação Ambiental e Planejamento (DEAPLA), 2005. 1 mapa temático, color. Escala: 1:100.000.

PUGLIERO, V. et al. Aplicação de diferentes métodos de classificadores em imagens LANDSAT para mapeamento temática do uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 16., abr. 2013., Foz do Iguaçu (BRA). **Anais...** Foz do Iguaçu: TecArt Editora Ltda, 2013, p. 7746-7753.

RAIMUNDO, S. A paisagem natural remanescente na Região Metropolitana de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 2, p. 19-31, abr./jun. 2006.

RAMEZANI, H. et al. A review of sampling-based approaches for estimating landscape metrics. **Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography**, Abingdon (GBR): Taylor & Francis Group, v. 67, n. 2. p. 61-71, 2013.

REBOITA, M. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará (UECE), v. 25, n. 2, p. 185-204, jun. 2010.

REBOITA, M. et al. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didática**, Campinas: Instituto de Geociências; Universidade de Campinas (UNICAMP), v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REIS, S. **Políticas públicas para a agricultura familiar: o PNAE na região do Alto Tietê – SP**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Mudança Social e Participação Política) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH – USP), São Paulo, 2016.

RIBEIRO, M. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 142, n. 6, p. 1141-1153, jun. 2009.

RICCOMINI, C. **O RIFT continental do sudeste do Brasil**. 1989. 319 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IG – USP), São Paulo, 1989.

_____.; COIMBRA, A. Geologia da bacia sedimentar. In: NEGRO JUNIOR, A. et al. (Ed.) **Solos da cidade de São Paulo**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS) – Núcleo Regional de São Paulo; Associação Brasileira de Engenharia de Fundações e Serviços; Geotécnicos Especializados (ABEF), 1992. p. 37-94.

_____.; SANT'ANNA, L.; FERRARI, A. Evolução geológica do *RIFT* continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2005. p. 383-406.

RICHARDS, J. Supervised classification techniques. In: _____. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 5 ed. Berlin (DEU): Springer-Verlag, 2013a. p. 247-318.

_____. Clustering and unsupervised classification. In: _____. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 5 ed. Berlin (DEU): Springer-Verlag, 2013b. p. 319-341.

RICHARDS, K. Geography's venues. The field. In: AGNEW, J.; LIVINGSTONE, D. (Ed.). **The SAGE handbook of geographical knowledge**. London (GBR); Los Angeles (USA): SAGE Publishing, 2011. p. 53-63.

RODRIGUES, C. A urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia: tributo a leitura geográfica. In: CARLOS, A.; OLIVEIRA, A. (Org.). **Geografias de São Paulo: representação e crise da metrópole**. São Paulo: Editora Contexto, 2004. p. 89-114.

_____. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: Departamento de Geografia - FFLCH – USP, v. 17, p. 101-111, 2005.

_____. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. **Geousp – Espaço e Tempo** (Online), São Paulo: Departamento de Geografia - FFLCH – USP, v. 19, n. 2, p. 325-348, ago. 2015. ISSN 2179-0892.

RODRIGUES, E.; VICTOR, R.; PIRES, B. A Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da cidade de São Paulo como marco para a gestão integrada da cidade, seus serviços ambientais e o bem-estar humano. **São Paulo em Perspectiva**, v.20, n. 2, p. 71-89, abr./jun. 2006.

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto. 2009.

_____; MOROZ, I. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH – USP); Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisa Tecnológico do Estado de São Paulo (IPT – São Paulo); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Mapas e Relatório, 1997. Relatório.

ROY, D. Landsat-8: science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia (USA): ELSEVIER, v. 145, 2014, p. 154-172.

ROZENSTEIN, O.; KARNIELI, A. Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. **Applied Geography**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 31, n. 2, p. 533-544, abr. 2011.

SALINAS, E. Los paisajes como fundamento del ordenamiento Ambiental. Experiencias y perspectivas. In: CONVENCION TRÓPICO, 2004, La Habana (CUB). Formato Digital, 2004. Não paginado.

_____. La Geografía y el Ordenamiento Territorial en Cuba. **La Gaceta Ecológica**, Ciudad de México (MEX): Instituto Nacional de Ecología n. 76, p. 35-51, 2005.

_____; QUINTELA, J. Paisajes y ordenamiento territorial: obtención del mapa de paisajes del estado de Hidalgo en México a escala media con el apoyo de los SIG. **Alquibla, Revista de Investigación del Bajo Seguro**. Alicante (ESP), n. 7, p. 517-527, 2001.

_____; RAMÓN, A. Propuesta metodológica para la delimitación semiautomatizada de unidades de paisaje de nivel local. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: Departamento de Geografia - FFLCH – USP, v. 25, p. 1-19, 2013.

SÂNCHEZ, L. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTIAGO & CINTRA CONSULTORIA (SCCON). Imagens RapidEye. Disponível em: <<https://www.scon.com.br/produtos/imagens/rapideye>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Economia e Planejamento. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A (EMPLASA). **Mapa do Uso e Ocupação da RMSP**. São Paulo, 2002. 30 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Florestal (IF). **Parque Estadual da Serra do Mar**: Plano de Manejo. São Paulo, 2008a. 433 p.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Instituto de Botânica. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Programa Biota/FAPESP. **Diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2008b.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Fundação Florestal. Instituto Florestal. **Parque Estadual da Cantareira**: Plano de Manejo. São Paulo, 2009. 541 p.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Fundação Florestal. Universidade de São Paulo (USP). **Área de Proteção Ambiental (APA) Várzea do Tietê**: Plano de Manejo. São Paulo, 2013. 680 p. Disponível em: <http://fflorestal.sp.gov.br/planos-de-manejo-2/em-aprovacao/>. Acesso em: 22 mar. 2017a.

_____. Secretaria dos Negócios Metropolitanos. Empresa Paulista de planejamento metropolitano SA (EMPLASA). **Síntese dos trabalhos**: propostas e recomendações. São Paulo, 1980. 71 p. (PMDI II - Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado da Grande São Paulo: Revisão e Atualização). Disponível em: <http://www.emplasa.sp.gov.br/emplasa/RMSP/rmsp.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2017b.

_____. Secretaria dos Negócios Metropolitanos. Empresa Paulista de planejamento metropolitano SA (EMPLASA). **PMDI II**: Revisão e atualização do PMDI – Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado – 1981/82. São Paulo, 1981. 115 p. (PMDI II - Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado da Grande São Paulo: Revisão e Atualização). Disponível em: <http://www.emplasa.sp.gov.br/emplasa/RMSP/rmsp.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2017c.

_____. Sistema Ambiental Paulista. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em: 5 jun. 2017d.

_____. Instituto Florestal. Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo (SIFESP). Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/inventario.html>. Acesso em: 7 de jul. 2017e.

SARTORELLO, R. **Interações em estudos para conservação**: conceitos e técnicas para análises geográficas e ecológicas da paisagem. 2014. 253 f. Tese (Tese em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 2014.

SAURA, S.; PASCUAL-HORTA, L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 83, n. 2-3, p. 91-103, nov. 2007.

_____; TORNÉ, J. **Conefor 2.6**: quantifying the importance of habitat patches and links for maintaining or enhancing landscape connectivity through spatial graphs and habitat availability (reachability) metrics. Disponível em: http://www.conefor.org/files/usuarios/Manual_Conefor_26.pdf. Acesso em: 20 fev. 2017.

SCHINDLER, S. et al. Performance of methods to select landscape metrics for modelling species richness. **Ecological Modelling**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 295, p. 107-112, jan. 2015.

SCHUSTER, C. et al. Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis – comparison of RapidEye e TerraSar-X satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER, v. 34, p. 25-34, jul. 2014.

SHENG, Y. Remote sensing. In: AGNEW, J.; LIVINGSTONE, N. (Ed.). **The SAGE handbook of geographical knowledge**. Los Angeles (USA); London (UK): SAGE, 2011.

SHI, W. et al. The Annual Cycle and Variability of Precipitation in Brazil. NCEP/Climate Prediction Center Atlas No. 9, Maryland (USA): NOAA/ National Weather Service, n. 9, dez. 2000. Disponível em: <http://www.cpc.noaa.gov/products/outreach/research_papers/ncep_cpc_atlas/9>. Acesso em: 1 mar. 2017.

SILVA, L. **Proteção ambiental e expansão urbana**: a ocupação ao sul do parque estadual da Cantareira. 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo (PROCAM – USP), São Paulo, 2004.

_____. **A cidade e a floresta: o impacto da expansão urbana sobre áreas vegetadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)**. 2013. 269 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo (PROCAM – USP), São Paulo, 2013.

SILVA, J. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: análise comparativa de duas Bacias Hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH – USP), São Paulo, 2005.

STEVENS, S. Fieldwork as commitment. **Geographical Review**, Hoboken (USA): John Wiley & Sons Inc., v. 91, n. 1-2, p. 66-73, jan./abr. 2010.

STODDART, D.; ADAMS, W. Geographical methodologies. Fieldwork and unity in geography. In: MATTHEUS, J.; HEBERT, D. (Org.). **Unifying Geography**: common heritage, shared future. Oxfordshire (GBR): Routledge; Abingdon (USA): Taylor & Francis Group, 2004. p. 46-61.

STORY, M.; CONGALTON, R. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS)**, Maryland (USA): American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, v. 52, n. 3, p. 397-399, mar. 1986.

STRAHLER, A. Global climates. In: STRALLER, A. **Introducing Physical Geography**. Boston (USA): John Wiley & Sons, Inc., 2011, p. 214-263.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

SUGUIO, K et al. Provável Significado Geológico de Idades LOE (Luminescência Opticamente Estimulada) da Formação Itaquaquetuba, SP. **Geologia USP, Série Científica** (Revista do Instituto de Geociências – USP). São Paulo, BRA: Instituto de Geociências – USP, v. 10, n. 3, p. 49-56. out. 2010.

SZILASSI, P. et al. The link between landscape pattern and vegetation naturalness on a regional scale. **Ecological Indicators**, Amsterdam (NLD): ELSEVIER Inc., v. 81, p. 252-259, jun. 2017.

TAKIYA, H. Estudo da sedimentação neogênica-quaternária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana. 1997. 175 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IGC – USP), São Paulo, 1997.

TARIFA, J.; ARMANI, G. **Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de São Paulo (SVMA–PMSP); Secretaria de Planejamento (SEMPLA–PMSP); Universidade de São Paulo (USP); Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (LCB–FFLCH-USP); Departamento de Geografia (DG – FFLCH – USP), 2000. Relatório técnico.

_____. Os climas “naturais”. In: TARIFA, J.; AZEVEDO, T. (Org.). **Os climas na cidade de São Paulo**. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura de Extensão; Universidade de São Paulo (USP); Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB – FFLCH – USP); Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (LCB – FFLCH – USP), 2001a. p. 47-70. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos – 4).

_____. Os climas urbanos. In: TARIFA, J.; AZEVEDO, T. (Org.). **Os climas na cidade de São Paulo**. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura de Extensão; Universidade de São Paulo (USP); Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB – FFLCH – USP); Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (LCB – FFLCH – USP), 2001b. p. 47-70. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos – 4).

THE UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Millennium ecosystem assessment. Island press. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Washington (DC-USA), 2009.

TOBLER, W. Measuring spatial resolution. In: CONFERENCE ON LAND USE AND REMOTE SENSING, 1987, Beijing (CHN). p. 5.

TROLL, C. The geographic landscape and its investigation. In: WIESNS, J. et al. **Fundation papers in landscape ecology**. New York (USA): Columbia University Press, 2007. p. 71-101.

TSO, B.; MATHER, P. Pattern recognition principles. In: _____. **Classification methods for remotely sensed data**. 2 ed. Boca Raton (USA): CRC Press – Taylor & Francis Group, 2009a, p. 41-75.

TSO, B.; MATHER, P. Support vector machines. In: _____. **Classification methods for remotely sensed data**. 2 ed. Boca Raton (USA): CRC Press – Taylor & Francis Group, 2009b, p. 125-154.

TURNER, M. Landscape ecology: what is the state of the science? **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto (USA), v. 17, n. 1, p. 86-104, fev. 2005.

_____; GARDNER, R.; O'NEILL, R. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. New York (USA): Springer-Verlag New York, 2001.

UNIVERSITY OF LLEIDA. **Conefor sensinode 2.2 user's manual**: software for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity through graphs and habitat availability indices. Lérida (ESP), 2007. 56 p. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/gtr_351.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2012.

URBAN, D. Modeling ecological processes across scales. **Ecology**, New Jersey (EUA): Wiley, v. 86, n. 8, p. 1996-2006, ago. 2005.

USTUNER, M.; SANLI, F.; DIXON, B. Application of support vector machines for landuse classification using high-resolution RapidEye images: a sensitivity analysis. **European Journal of Remote Sensing**, Abingdon (GBR): Taylor & Francis Group, v. 48, n. 1, p. 403-422, ago. 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: VERSÃO DIGITAL 2, 2006. http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 25 nov. 2006.

VEMADO, F. **Análise da circulação de brisa marítima e seus impactos sobre a precipitação na Região Metropolitana de São Paulo por meio do modelo ARPS**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG – USP), São Paulo, 2012.

VICENT, P.; WHYTE, I. Geographical methodologies. Exploration, discovery and the cartographic tradition. In: MATTHEUS, J.; HEBERT, D. (Org.). **Unifying Geography: common heritage, shared future**. Oxfordshire (GBR): Routledge; Abingdon (USA): Taylor & Francis Group, 2004. p. 33-45.

VILES, H. Physical geography fieldwork. In: ROGERS, A.; VILES, H.; GOUDIE, A. (Ed.). **The student's companion to geography**. Oxford (GBR); Cambridge (USA): Blackwell. 1999, p. 187-195.

WILLIAMS, P.; MARGULES, C.; HILBERT, D. Data requirements and data sources for biodiversity priority area selection. **Journal of Biosciences**, Bangalore (IND): Indian Academy of Sciences, v. 27, n. 4, p. 327-338, jul. 2002.

WILCOVE, D.; MCLELLAN, C.; DOBSON, A. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: SOULÉ, M. (Ed.). **Conservation Biology: the science of scarcity and diversity**. Sunderland (EUA): Sinauer Associates, Inc. p. 237-255. 1986.

WYLIE, J. Landscape. In: AGNEW, J.; LIVINGSTONE, N. (Ed.). **The SAGE handbook of geographical knowledge**. Los Angeles (USA); London (GBR): SAGE, 2011.

XU, L.; KRZYZAK, A; SUEN, C. Methods of combining multiple classifiers and their applications to handwriting recognition **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 22, n. 3, p. 418-435, maio/jun. 1992.

YAMANE, M. H. **Área Úmida na planície de inundação da represa Guarapiranga**. 2018. 1 fotografia, color., 12 cm x 16 cm.

YAMANE, M. H. **Transição entre solo exposto e campo, no distrito de Parelheiros**. 2018. 1 fotografia, color., 12 cm x 16 cm.

YAMAURA, Y. et al. Relative importance of the area and shape of patches to the diversity of multiple taxa. **Conservation Biology**, New Jersey (USA): Wiley, v. 22, n. 6, p. 1513-1522, ago. 2008.

ZONNEVELD, I. S. The land unit – a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, Enschede (NLD): Springer Link, v. 3, n. 2, p. 67-86, dez. 1989.

APÊNDICE A – Pontos de Identificação das amostras de referência na APRMSP

Apresentamos na Tabela 1 os 552 pontos de identificação das amostras de referência para os cálculos da matriz de confusão, do índice Kappa e da técnica de votação. Utilizamos a abreviatura PST — seguida de um número, hífen e outro número — para facilitar a redação do texto e diferenciar os setores da APRMSP. O “P” representa a palavra ponto e “ST”, seguido do primeiro número, o setor (1, 2 ou 3) onde a amostra está localizada; o último número é a posição de ordem (1 a 184) daquele ponto dentre os 552 sorteados.

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continua)

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
1	PST1-1	Trabalho de Campo	325372,429	7385974,455	AU
2	PST1-2	Trabalho de Campo	322915,688	7392045,358	AU
3	PST1-3	Trabalho de Campo	319568,426	7385097,076	AU
4	PST1-4	Trabalho de Campo	322794,811	7386848,725	AU
5	PST1-5	Trabalho de Campo	317639,357	7381540,482	AU
6	PST1-6	Trabalho de Campo	317907,793	7382417,719	AU
7	PST1-7	Trabalho de Campo	325860,508	7389366,618	AU
8	PST1-8	Trabalho de Campo	319144,592	7391608,835	RF
9	PST1-9	Trabalho de Campo	322754,826	7385060,273	AU
10	PST1-10	Trabalho de Campo	321769,359	7391964,615	AU
11	PST1-11	Trabalho de Campo	323437,841	7385113,136	RF
12	PST1-12	Trabalho de Campo	321730,826	7381184,581	AU
13	PST1-13	Trabalho de Campo	321948,929	7394055,615	AU
14	PST1-14	Trabalho de Campo	319108,207	7383207,599	AU
15	PST1-15	Trabalho de Campo	321420,177	7384269,201	AU
16	PST1-16	Base do Google Earth	321270,307	7394688,590	AU
17	PST1-17	Base do Google Earth	324205,258	7385700,375	RF
18	PST1-18	Base do Google Earth	327133,701	7390039,871	AU
19	PST1-19	Base do Google Earth	324359,712	7388491,988	AU
20	PST1-20	Base do Google Earth	320966,040	7384070,939	AU
21	PST1-21	Base do Google Earth	322873,097	7386825,314	AU
22	PST1-22	Base do Google Earth	322460,134	7392279,970	AU

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
23	PST1-23	Base do Google Earth	322760,853	7388964,078	AU
24	PST1-24	Base do Google Earth	320967,001	7396772,684	FL
25	PST1-25	Base do Google Earth	321646,176	7383136,267	AU
26	PST1-26	Base do Google Earth	322525,697	7388187,594	AU
27	PST1-27	Base do Google Earth	323682,055	7386711,735	AU
28	PST1-28	Base do Google Earth	323555,305	7385053,202	AU
29	PST1-29	Base do Google Earth	321999,665	7389937,710	RF
30	PST1-30	Base do Google Earth	323113,297	7383267,954	AU
31	PST1-31	Base do Google Earth	318920,336	7379974,233	AU
32	PST1-32	Base do Google Earth	318253,690	7378747,215	AU
33	PST1-33	Base do Google Earth	318775,404	7384427,179	AU
34	PST1-34	Base do Google Earth	325476,252	7389330,171	FL
35	PST1-35	Base do Google Earth	320616,860	7392800,030	AU
36	PST1-36	Base do Google Earth	320136,279	7393555,674	RF
37	PST1-37	Base do Google Earth	323875,687	7384649,446	RF
38	PST1-38	Base do Google Earth	321068,669	7395819,696	AU
39	PST1-39	Base do Google Earth	319320,275	7384949,485	RF
40	PST1-40	Base do Google Earth	317502,743	7390675,588	AU
41	PST1-41	Base do Google Earth	323593,626	7391424,756	AU
42	PST1-42	Base do Google Earth	317976,529	7390056,754	AU
43	PST1-43	Base do Google Earth	324073,647	7391671,928	AU
44	PST1-44	Base do Google Earth	317649,651	7379265,900	AU
45	PST1-45	Base do Google Earth	323728,947	7392842,085	FL
46	PST1-46	Base do Google Earth	317244,589	7388763,847	AU
47	PST1-47	Base do Google Earth	316784,577	7390546,977	FL
48	PST1-48	Base do Google Earth	322085,422	7382113,184	FL
49	PST1-49	Base do Google Earth	321548,369	7393053,777	AU
50	PST1-50	Base do Google Earth	322375,576	7389629,771	AU
51	PST1-51	Base do Google Earth	326191,615	7389020,457	AU
52	PST1-52	Base do Google Earth	322290,387	7391579,723	AU
53	PST1-53	Base do Google Earth	323440,344	7384150,070	AU
54	PST1-54	Base do Google Earth	316402,481	7390683,996	AD
55	PST1-55	Base do Google Earth	318929,237	7391363,484	RF
56	PST1-56	Base do Google Earth	325125,173	7392054,236	AU
57	PST1-57	Base do Google Earth	323171,655	7385842,399	CP
58	PST1-58	Base do Google Earth	325982,657	7387651,484	AU
59	PST1-59	Base do Google Earth	318662,735	7384665,948	FL
60	PST1-60	Base do Google Earth	320431,930	7391397,669	AU

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
61	PST1-61	Base do Google Earth	325987,982	7386436,701	AG
62	PST1-62	Base do Google Earth	318656,321	7384906,557	AU
63	PST1-63	Base do Google Earth	319706,993	7391761,196	AU
64	PST1-64	Base do Google Earth	320737,788	7384362,998	AU
65	PST1-65	Base do Google Earth	319500,571	7392924,654	AU
66	PST1-66	Base do Google Earth	323444,721	7384922,742	RF
67	PST1-67	Base do Google Earth	325595,302	7387736,546	AU
68	PST1-68	Base do Google Earth	317003,699	7382228,883	AU
69	PST1-69	Base do Google Earth	318213,612	7391271,138	AU
70	PST1-70	Base do Google Earth	324070,252	7393575,577	AU
71	PST1-71	Base do Google Earth	321394,779	7387962,619	AU
72	PST1-72	Base do Google Earth	321906,578	7385867,056	CP
73	PST1-73	Base do Google Earth	320404,713	7392893,496	AU
74	PST1-74	Base do Google Earth	322913,735	7386043,290	AU
75	PST1-75	Base do Google Earth	323296,381	7390505,377	AU
76	PST1-76	Base do Google Earth	321004,726	7385976,339	AU
77	PST1-77	Base do Google Earth	325202,647	7386822,010	CP
78	PST1-78	Base do Google Earth	321643,985	7385145,837	AU
79	PST1-79	Base do Google Earth	324103,665	7389495,836	AU
80	PST1-80	Base do Google Earth	320044,543	7386329,552	AU
81	PST1-81	Base do Google Earth	316216,889	7389060,802	FL
82	PST1-82	Base do Google Earth	319029,019	7380068,224	AU
83	PST1-83	Base do Google Earth	322740,671	7393907,374	CP
84	PST1-84	Base do Google Earth	320663,524	7383021,974	AU
85	PST1-85	Base do Google Earth	315899,224	7389826,480	AU
86	PST1-86	Base do Google Earth	323316,852	7391103,877	AU
87	PST1-87	Base do Google Earth	318387,156	7389605,010	FL
88	PST1-88	Base do Google Earth	318464,090	7379544,497	AU
89	PST1-89	Base do Google Earth	318674,671	7381501,150	AU
90	PST1-90	Base do Google Earth	315380,889	7387829,684	FL
91	PST1-91	Base do Google Earth	320697,133	7393574,008	CP
92	PST1-92	Base do Google Earth	317695,355	7384314,508	FL
93	PST1-93	Base do Google Earth	318534,082	7383400,058	AU
94	PST1-94	Base do Google Earth	319810,392	7389143,325	AU
95	PST1-95	Base do Google Earth	324124,129	7386263,422	CP
96	PST1-96	Base do Google Earth	320629,834	7381619,383	AU
97	PST1-97	Base do Google Earth	324732,234	7393044,908	FL
98	PST1-98	Base do Google Earth	325382,440	7392805,210	AU

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)					
Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
99	PST1-99	Base do Google Earth	315433,137	7388069,265	FL
100	PST1-100	Base do Google Earth	320710,893	7395602,549	RF
101	PST1-101	Base do Google Earth	319918,290	7389028,071	AU
102	PST1-102	Base do Google Earth	317055,166	7382808,432	AU
103	PST1-103	Base do Google Earth	322010,886	7390302,600	AU
104	PST1-104	Base do Google Earth	320554,089	7381647,484	FL
105	PST1-105	Base do Google Earth	326899,298	7391588,179	AG
106	PST1-106	Base do Google Earth	324815,232	7385639,276	AU
107	PST1-107	Base do Google Earth	319783,878	7392825,114	AU
108	PST1-108	Base do Google Earth	325101,386	7389397,523	AU
109	PST1-109	Base do Google Earth	317900,355	7380205,260	AU
110	PST1-110	Base do Google Earth	322907,169	7392088,504	AU
111	PST1-111	Base do Google Earth	321700,213	7389359,376	AU
112	PST1-112	Base do Google Earth	318645,645	7388529,613	AU
113	PST1-113	Base do Google Earth	321648,597	7384387,325	AU
114	PST1-114	Base do Google Earth	319383,431	7385230,619	AU
115	PST1-115	Base do Google Earth	321844,234	7394737,810	AU
116	PST1-116	Base do Google Earth	318558,788	7389306,380	AU
117	PST1-117	Base do Google Earth	322557,705	7382379,965	AU
118	PST1-118	Base do Google Earth	326840,060	7391723,997	AU
119	PST1-119	Base do Google Earth	321185,332	7394159,192	AU
120	PST1-120	Base do Google Earth	324648,806	7388700,308	AU
121	PST1-121	Base do Google Earth	321042,606	7385647,390	AU
122	PST1-122	Base do Google Earth	321479,974	7382039,428	AU
123	PST1-123	Base do Google Earth	316998,745	7379005,396	AU
124	PST1-124	Base do Google Earth	321999,544	7389081,154	AU
125	PST1-125	Base do Google Earth	322721,998	7392927,144	AU
126	PST1-126	Base do Google Earth	320919,582	7390973,794	FL
127	PST1-127	Base do Google Earth	319195,492	7379456,644	AU
128	PST1-128	Base do Google Earth	318618,191	7380189,513	AU
129	PST1-129	Base do Google Earth	322512,312	7379929,713	AU
130	PST1-130	Base do Google Earth	322153,549	7390783,576	AU
131	PST1-131	Base do Google Earth	318423,522	7383894,575	AU
132	PST1-132	Base do Google Earth	316866,571	7381597,701	FL
133	PST1-133	Base do Google Earth	326344,668	7391276,741	AU
134	PST1-134	Base do Google Earth	323367,773	7387956,452	FL
135	PST1-135	Base do Google Earth	321296,542	7395590,877	AU
136	PST1-136	Base do Google Earth	321839,577	7386203,666	AU

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
137	PST1-137	Base do Google Earth	319401,559	7384635,786	AU
138	PST1-138	Base do Google Earth	322707,299	7386839,064	CP
139	PST1-139	Base do Google Earth	323011,323	7385611,605	FL
140	PST1-140	Base do Google Earth	327460,563	7390349,054	AU
141	PST1-141	Base do Google Earth	325113,666	7392124,586	AU
142	PST1-142	Base do Google Earth	322906,262	7393226,955	AU
143	PST1-143	Base do Google Earth	322833,938	7385035,399	CP
144	PST1-144	Base do Google Earth	319133,056	7389027,411	RF
145	PST1-145	Base do Google Earth	320662,682	7389833,107	FL
146	PST1-146	Base do Google Earth	322579,123	7395001,829	AU
147	PST1-147	Base do Google Earth	316437,827	7379968,833	AU
148	PST1-148	Base do Google Earth	325751,475	7393211,685	FL
149	PST1-149	Base do Google Earth	316532,226	7389689,687	AU
150	PST1-150	Base do Google Earth	323287,757	7387237,970	AU
151	PST1-151	Base do Google Earth	326993,784	7389041,213	AG
152	PST1-152	Base do Google Earth	320684,111	7393788,995	AU
153	PST1-153	Base do Google Earth	322523,079	7389059,405	AU
154	PST1-154	Base do Google Earth	319977,651	7383676,785	RF
155	PST1-155	Base do Google Earth	321861,826	7385267,168	AU
156	PST1-156	Base do Google Earth	322688,966	7383860,313	AU
157	PST1-157	Base do Google Earth	317178,426	7383580,208	AU
158	PST1-158	Base do Google Earth	319570,065	7383229,938	AU
159	PST1-159	Base do Google Earth	325988,739	7391993,274	FL
160	PST1-160	Base do Google Earth	321735,501	7393920,592	AU
161	PST1-161	Base do Google Earth	321133,672	7381287,763	AU
162	PST1-162	Base do Google Earth	320371,302	7383946,019	AU
163	PST1-163	Base do Google Earth	321749,437	7395817,747	AU
164	PST1-164	Base do Google Earth	318401,906	7382687,042	AU
165	PST1-165	Base do Google Earth	322539,156	7381608,669	AU
166	PST1-166	Base do Google Earth	317624,025	7379213,537	AU
167	PST1-167	Base do Google Earth	316772,426	7389166,886	FL
168	PST1-168	Base do Google Earth	320184,741	7389627,156	AU
169	PST1-169	Base do Google Earth	321350,948	7395014,122	AU
170	PST1-170	Base do Google Earth	322783,941	7390617,017	AU
171	PST1-171	Base do Google Earth	326079,408	7391506,048	AU
172	PST1-172	Base do Google Earth	316835,370	7381721,147	AU
173	PST1-173	Base do Google Earth	321743,619	7386826,793	AU
174	PST1-174	Base do Google Earth	324586,924	7385015,040	AU

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
175	PST1-175	Base do Google Earth	324728,999	7385935,423	CP
176	PST1-176	Base do Google Earth	321700,811	7381442,137	AU
177	PST1-177	Base do Google Earth	324274,132	7385146,421	RF
178	PST1-178	Base do Google Earth	324289,476	7385221,244	FL
179	PST1-179	Base do Google Earth	316135,477	7390575,360	AU
180	PST1-180	Base do Google Earth	323755,448	7393446,861	FL
181	PST1-181	Base do Google Earth	322707,329	7381151,570	AU
182	PST1-182	Base do Google Earth	317622,378	7379478,751	AU
183	PST1-183	Base do Google Earth	320194,779	7382569,258	AU
184	PST1-184	Base do Google Earth	326127,396	7388326,258	AU
185	PST2-1	Trabalho de Campo	323804,013	7374091,152	AG
186	PST2-2	Trabalho de Campo	318298,640	7377132,276	RF
187	PST2-3	Trabalho de Campo	322145,734	7374183,603	CP
188	PST2-4	Trabalho de Campo	321906,769	7377484,624	AU
189	PST2-5	Trabalho de Campo	318782,581	7376431,607	AU
190	PST2-6	Trabalho de Campo	324051,774	7379056,584	AG
191	PST2-7	Trabalho de Campo	321686,504	7375911,217	AG
192	PST2-8	Trabalho de Campo	318833,869	7375946,231	CP
193	PST2-9	Trabalho de Campo	321723,212	7379357,888	AU
194	PST2-10	Trabalho de Campo	316924,828	7374534,455	FL
195	PST2-11	Trabalho de Campo	320726,435	7378148,984	FL
196	PST2-12	Trabalho de Campo	322921,256	7374239,547	AG
197	PST2-13	Trabalho de Campo	317369,561	7376379,470	FL
198	PST2-14	Trabalho de Campo	321041,297	7375785,504	FL
199	PST2-15	Trabalho de Campo	323395,961	7376970,395	FL
200	PST2-16	Base do Google Earth	321793,495	7374826,792	SE
201	PST2-17	Base do Google Earth	318578,812	7370592,482	AG
202	PST2-18	Base do Google Earth	323991,497	7379117,052	AG
203	PST2-19	Base do Google Earth	318026,724	7375664,040	AU
204	PST2-20	Base do Google Earth	320185,481	7377361,043	FL
205	PST2-21	Base do Google Earth	318915,923	7375791,331	AD
206	PST2-22	Base do Google Earth	322561,590	7374175,666	FL
207	PST2-23	Base do Google Earth	320355,635	7372801,317	AG
208	PST2-24	Base do Google Earth	316689,726	7375001,302	CP
209	PST2-25	Base do Google Earth	321142,030	7379339,861	AU
210	PST2-26	Base do Google Earth	319437,721	7376161,283	AU
211	PST2-27	Base do Google Earth	320487,389	7373214,932	AG
212	PST2-28	Base do Google Earth	324051,306	7376149,892	AG

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
213	PST2-29	Base do Google Earth	317497,005	7377562,689	AU
214	PST2-30	Base do Google Earth	319691,689	7374494,853	AU
215	PST2-31	Base do Google Earth	322405,884	7374803,907	AG
216	PST2-32	Base do Google Earth	318639,835	7374183,585	FL
217	PST2-33	Base do Google Earth	318413,529	7370028,422	AG
218	PST2-34	Base do Google Earth	323050,266	7378633,619	AG
219	PST2-35	Base do Google Earth	322682,392	7378775,900	FL
220	PST2-36	Base do Google Earth	322396,437	7378185,511	AG
221	PST2-37	Base do Google Earth	320292,436	7373686,956	AG
222	PST2-38	Base do Google Earth	320174,552	7373608,661	AG
223	PST2-39	Base do Google Earth	318343,243	7372540,616	AU
224	PST2-40	Base do Google Earth	323127,956	7379515,034	AU
225	PST2-41	Base do Google Earth	318567,993	7374162,361	CP
226	PST2-42	Base do Google Earth	316280,085	7378148,396	AU
227	PST2-43	Base do Google Earth	322818,502	7378121,703	AG
228	PST2-44	Base do Google Earth	323707,765	7378756,569	AG
229	PST2-45	Base do Google Earth	319967,215	7375843,803	RF
230	PST2-46	Base do Google Earth	324140,301	7373339,276	AG
231	PST2-47	Base do Google Earth	320629,318	7375087,547	RF
232	PST2-48	Base do Google Earth	319034,992	7374831,361	CP
233	PST2-49	Base do Google Earth	324174,501	7378564,442	AG
234	PST2-50	Base do Google Earth	323476,718	7376489,428	AG
235	PST2-51	Base do Google Earth	321186,290	7376775,889	FL
236	PST2-52	Base do Google Earth	320362,613	7376985,908	AG
237	PST2-53	Base do Google Earth	319001,282	7370738,805	AG
238	PST2-54	Base do Google Earth	320830,234	7377706,238	FL
239	PST2-55	Base do Google Earth	318710,899	7370578,391	AG
240	PST2-56	Base do Google Earth	321896,014	7373367,232	AG
241	PST2-57	Base do Google Earth	319682,995	7377308,655	FL
242	PST2-58	Base do Google Earth	322629,751	7375485,863	AG
243	PST2-59	Base do Google Earth	323706,025	7378529,460	AG
244	PST2-60	Base do Google Earth	317993,105	7373745,248	AU
245	PST2-61	Base do Google Earth	319397,717	7373576,243	FL
246	PST2-62	Base do Google Earth	324325,571	7371231,249	AG
247	PST2-63	Base do Google Earth	322895,007	7375449,848	AG
248	PST2-64	Base do Google Earth	320526,455	7375898,756	FL
249	PST2-65	Base do Google Earth	319385,01	7372861,711	FL
250	PST2-66	Base do Google Earth	319557,06	7373765,384	FL

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
251	PST2-67	Base do Google Earth	319916,204	7372047,371	AG
252	PST2-68	Base do Google Earth	320178,573	7378340,493	AU
253	PST2-69	Base do Google Earth	319339,063	7378654,001	FL
254	PST2-70	Base do Google Earth	318859,375	7374977,532	CP
255	PST2-71	Base do Google Earth	323524,749	7378915,020	AG
256	PST2-72	Base do Google Earth	317556,682	7373002,415	FL
257	PST2-73	Base do Google Earth	321964,628	7374784,757	FL
258	PST2-74	Base do Google Earth	317469,922	7377902,438	CP
259	PST2-75	Base do Google Earth	317400,773	7375618,733	RF
260	PST2-76	Base do Google Earth	317691,896	7373935,314	AU
261	PST2-77	Base do Google Earth	318073,881	7374195,056	AU
262	PST2-78	Base do Google Earth	316606,358	7378770,119	AU
263	PST2-79	Base do Google Earth	321167,133	7377311,037	FL
264	PST2-80	Base do Google Earth	320590,161	7373590,486	AG
265	PST2-81	Base do Google Earth	323494,018	7375674,265	AG
266	PST2-82	Base do Google Earth	320579,064	7373759,921	AG
267	PST2-83	Base do Google Earth	323309,207	7380309,812	RF
268	PST2-84	Base do Google Earth	324292,177	7377863,050	AG
269	PST2-85	Base do Google Earth	321655,621	7376376,509	AG
270	PST2-86	Base do Google Earth	324082,492	7376019,789	AG
271	PST2-87	Base do Google Earth	320132,494	7371952,712	AG
272	PST2-88	Base do Google Earth	317982,389	7369365,991	AG
273	PST2-89	Base do Google Earth	317977,323	7369503,235	AG
274	PST2-90	Base do Google Earth	319582,243	7373728,931	FL
275	PST2-91	Base do Google Earth	317589,692	7374706,794	AU
276	PST2-92	Base do Google Earth	318149,576	7378397,223	AU
277	PST2-93	Base do Google Earth	320835,084	7380081,271	AU
278	PST2-94	Base do Google Earth	319860,135	7378362,979	FL
279	PST2-95	Base do Google Earth	320565,788	7378762,479	FL
280	PST2-96	Base do Google Earth	321950,544	7372670,710	AG
281	PST2-97	Base do Google Earth	319284,541	7378339,625	RF
282	PST2-98	Base do Google Earth	323806,340	7376252,418	AG
283	PST2-99	Base do Google Earth	323186,643	7378888,766	AG
284	PST2-100	Base do Google Earth	321203,613	7373956,849	AG
285	PST2-101	Base do Google Earth	320593,244	7374326,736	FL
286	PST2-102	Base do Google Earth	322173,901	7377455,673	AU
287	PST2-103	Base do Google Earth	319049,263	7374615,545	AU
288	PST2-104	Base do Google Earth	323798,797	7375372,286	AG

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)					
Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
289	PST2-105	Base do Google Earth	318655,576	7374800,610	CP
290	PST2-106	Base do Google Earth	323188,588	7373357,776	AG
291	PST2-107	Base do Google Earth	322887,831	7375492,704	AG
292	PST2-108	Base do Google Earth	319030,702	7372122,615	AU
293	PST2-109	Base do Google Earth	320251,259	7376295,341	FL
294	PST2-110	Base do Google Earth	318085,040	7377772,249	CP
295	PST2-111	Base do Google Earth	318575,435	7378386,953	AU
296	PST2-112	Base do Google Earth	320244,466	7376014,873	SE
297	PST2-113	Base do Google Earth	318454,626	7370703,705	AG
298	PST2-114	Base do Google Earth	320514,464	7379898,127	AU
299	PST2-115	Base do Google Earth	323000,663	7375340,974	AG
300	PST2-116	Base do Google Earth	318456,582	7376328,994	AU
301	PST2-117	Base do Google Earth	321037,041	7379176,420	AU
302	PST2-118	Base do Google Earth	317282,977	7376760,720	AU
303	PST2-119	Base do Google Earth	322109,089	7379507,037	AU
304	PST2-120	Base do Google Earth	321748,072	7375270,884	FL
305	PST2-121	Base do Google Earth	321776,732	7377371,941	AU
306	PST2-122	Base do Google Earth	317387,861	7376647,190	FL
307	PST2-123	Base do Google Earth	323130,371	7373601,376	AG
308	PST2-124	Base do Google Earth	321156,646	7375059,136	AU
309	PST2-125	Base do Google Earth	318302,004	7370275,987	AG
310	PST2-126	Base do Google Earth	319191,149	7372736,140	FL
311	PST2-127	Base do Google Earth	321055,438	7375776,376	FL
312	PST2-128	Base do Google Earth	322174,076	7373935,820	CP
313	PST2-129	Base do Google Earth	320590,936	7374061,608	AG
314	PST2-130	Base do Google Earth	320806,639	7375620,089	AU
315	PST2-131	Base do Google Earth	319880,868	7376607,573	AG
316	PST2-132	Base do Google Earth	323392,944	7378613,865	AG
317	PST2-133	Base do Google Earth	323928,566	7376969,195	AG
318	PST2-134	Base do Google Earth	318369,878	7377220,840	RF
319	PST2-135	Base do Google Earth	318791,760	7377053,181	FL
320	PST2-136	Base do Google Earth	321737,551	7375327,654	FL
321	PST2-137	Base do Google Earth	324119,132	7379195,010	AG
322	PST2-138	Base do Google Earth	322581,478	7378118,881	AG
323	PST2-139	Base do Google Earth	318403,584	7377114,842	RF
324	PST2-140	Base do Google Earth	323598,144	7377024,063	FL
325	PST2-141	Base do Google Earth	321856,721	7378527,084	RF
326	PST2-142	Base do Google Earth	319656,802	7374228,800	AU

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
327	PST2-143	Base do Google Earth	321349,649	7374379,779	FL
328	PST2-144	Base do Google Earth	320660,660	7376152,883	CP
329	PST2-145	Base do Google Earth	323842,920	7380235,033	AG
330	PST2-146	Base do Google Earth	318231,624	7373704,964	AU
331	PST2-147	Base do Google Earth	322143,422	7373375,140	AG
332	PST2-148	Base do Google Earth	321464,663	7376051,705	AG
333	PST2-149	Base do Google Earth	319190,182	7376333,096	FL
334	PST2-150	Base do Google Earth	317953,186	7373212,412	FL
335	PST2-151	Base do Google Earth	320253,637	7375925,775	SE
336	PST2-152	Base do Google Earth	322775,971	7376807,887	FL
337	PST2-153	Base do Google Earth	321709,846	7377244,752	FL
338	PST2-154	Base do Google Earth	321936,567	7375547,458	AG
339	PST2-155	Base do Google Earth	322083,464	7376112,335	AG
340	PST2-156	Base do Google Earth	322699,815	7372958,917	AG
341	PST2-157	Base do Google Earth	317695,768	7373437,835	FL
342	PST2-158	Base do Google Earth	321248,626	7379302,722	FL
343	PST2-159	Base do Google Earth	321239,723	7376182,661	CP
344	PST2-160	Base do Google Earth	318613,787	7373687,473	AU
345	PST2-161	Base do Google Earth	319205,605	7372801,361	CP
346	PST2-162	Base do Google Earth	319777,514	7376080,876	AU
347	PST2-163	Base do Google Earth	320013,694	7372679,621	AG
348	PST2-164	Base do Google Earth	317930,243	7378492,552	AU
349	PST2-165	Base do Google Earth	319596,558	7371621,269	AG
350	PST2-166	Base do Google Earth	319165,358	7378887,659	SE
351	PST2-167	Base do Google Earth	318558,554	7373673,136	AU
352	PST2-168	Base do Google Earth	319145,779	7377616,145	AU
353	PST2-169	Base do Google Earth	317686,338	7377310,174	AU
354	PST2-170	Base do Google Earth	320928,926	7374224,559	AG
355	PST2-171	Base do Google Earth	319433,037	7373752,716	CP
356	PST2-172	Base do Google Earth	323682,190	7375956,039	AG
357	PST2-173	Base do Google Earth	321636,605	7375818,271	AD
358	PST2-174	Base do Google Earth	318774,765	7374626,223	FL
359	PST2-175	Base do Google Earth	317159,941	7375018,338	AU
360	PST2-176	Base do Google Earth	320235,084	7376213,909	FL
361	PST2-177	Base do Google Earth	321097,649	7378739,870	FL
362	PST2-178	Base do Google Earth	318153,238	7373444,576	CP
363	PST2-179	Base do Google Earth	318051,381	7370034,663	AG
364	PST2-180	Base do Google Earth	322044,901	7375191,908	CP

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
365	PST2-181	Base do Google Earth	320500,982	7379848,140	AU
366	PST2-182	Base do Google Earth	320213,306	7375870,642	AU
367	PST2-183	Base do Google Earth	320876,436	7377199,293	FL
368	PST2-184	Base do Google Earth	320404,590	7376750,946	AG
369	PST3-1	Trabalho de Campo	317237,990	7365935,509	RF
370	PST3-2	Trabalho de Campo	322737,578	7367496,698	CP
371	PST3-3	Trabalho de Campo	326624,861	7364328,566	AU
372	PST3-4	Trabalho de Campo	318607,504	7368422,167	CP
373	PST3-5	Trabalho de Campo	326431,599	7365710,653	FL
374	PST3-6	Trabalho de Campo	322356,205	7369295,274	CP
375	PST3-7	Trabalho de Campo	324108,970	7364141,623	SE
376	PST3-8	Trabalho de Campo	321327,417	7368653,227	FL
377	PST3-9	Trabalho de Campo	324485,334	7364598,809	CP
378	PST3-10	Trabalho de Campo	318309,635	7368325,081	CP
379	PST3-11	Trabalho de Campo	321334,735	7365486,169	CP
380	PST3-12	Trabalho de Campo	319950,287	7371364,499	AD
381	PST3-13	Trabalho de Campo	320484,867	7368047,631	FL
382	PST3-14	Trabalho de Campo	317056,559	7365992,636	FL
383	PST3-15	Trabalho de Campo	326633,119	7362448,629	AU
384	PST3-16	Base do Google Earth	317517,033	7368135,430	SE
385	PST3-17	Base do Google Earth	323272,219	7371790,275	RF
386	PST3-18	Base do Google Earth	325899,929	7368647,651	CP
387	PST3-19	Base do Google Earth	322426,183	7372221,733	FL
388	PST3-20	Base do Google Earth	320503,452	7369608,027	FL
389	PST3-21	Base do Google Earth	321858,719	7366433,440	FL
390	PST3-22	Base do Google Earth	322460,944	7363785,010	FL
391	PST3-23	Base do Google Earth	319868,159	7369351,914	FL
392	PST3-24	Base do Google Earth	322703,191	7372537,013	FL
393	PST3-25	Base do Google Earth	324902,640	7364963,596	FL
394	PST3-26	Base do Google Earth	318295,201	7369263,023	FL
395	PST3-27	Base do Google Earth	324159,440	7364474,391	AD
396	PST3-28	Base do Google Earth	324045,184	7368844,164	AU
397	PST3-29	Base do Google Earth	317758,453	7369487,761	AD
398	PST3-30	Base do Google Earth	320290,346	7366310,146	FL
399	PST3-31	Base do Google Earth	325319,357	7366588,484	RF
400	PST3-32	Base do Google Earth	324946,830	7364020,966	FL
401	PST3-33	Base do Google Earth	320617,099	7367728,437	FL
402	PST3-34	Base do Google Earth	325381,718	7369170,830	CP

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
403	PST3-35	Base do Google Earth	327152,504	7362042,173	FL
404	PST3-36	Base do Google Earth	317094,775	7366906,846	AD
405	PST3-37	Base do Google Earth	323274,321	7370165,513	FL
406	PST3-38	Base do Google Earth	319331,416	7369155,027	FL
407	PST3-39	Base do Google Earth	325537,546	7361665,555	RF
408	PST3-40	Base do Google Earth	322976,856	7366161,137	FL
409	PST3-41	Base do Google Earth	326125,319	7365998,204	FL
410	PST3-42	Base do Google Earth	322732,028	7370434,913	FL
411	PST3-43	Base do Google Earth	318004,470	7368691,859	CP
412	PST3-44	Base do Google Earth	317505,804	7366182,281	RF
413	PST3-45	Base do Google Earth	322219,150	7367138,039	RF
414	PST3-46	Base do Google Earth	318922,176	7367093,620	FL
415	PST3-47	Base do Google Earth	320052,056	7369505,822	CP
416	PST3-48	Base do Google Earth	321779,447	7362924,175	FL
417	PST3-49	Base do Google Earth	323313,468	7368441,160	CP
418	PST3-50	Base do Google Earth	319893,773	7371122,082	AD
419	PST3-51	Base do Google Earth	320172,779	7366808,639	FL
420	PST3-52	Base do Google Earth	321585,878	7370933,979	AG
421	PST3-53	Base do Google Earth	320863,682	7371639,246	CP
422	PST3-54	Base do Google Earth	319561,629	7366640,256	RF
423	PST3-55	Base do Google Earth	320820,151	7364572,514	FL
424	PST3-56	Base do Google Earth	320234,363	7370583,655	FL
425	PST3-57	Base do Google Earth	324707,337	7370661,990	CP
426	PST3-58	Base do Google Earth	321901,336	7370922,716	AG
427	PST3-59	Base do Google Earth	324346,378	7364406,306	FL
428	PST3-60	Base do Google Earth	320629,245	7367168,839	RF
429	PST3-61	Base do Google Earth	322741,564	7364628,631	CP
430	PST3-62	Base do Google Earth	320462,870	7369636,468	FL
431	PST3-63	Base do Google Earth	324651,368	7369822,282	FL
432	PST3-64	Base do Google Earth	321014,724	7363963,167	FL
433	PST3-65	Base do Google Earth	324483,137	7369683,654	AU
434	PST3-66	Base do Google Earth	319441,739	7364934,565	FL
435	PST3-67	Base do Google Earth	324521,148	7366882,794	FL
436	PST3-68	Base do Google Earth	326021,073	7365223,405	CP
437	PST3-69	Base do Google Earth	326235,121	7363386,950	FL
438	PST3-70	Base do Google Earth	320514,264	7363908,106	FL
439	PST3-71	Base do Google Earth	325882,879	7366686,438	FL
440	PST3-72	Base do Google Earth	323616,327	7365662,362	CP

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “**Número**” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “**Código do Ponto**” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
441	PST3-73	Base do Google Earth	322513,154	7366426,337	FL
442	PST3-74	Base do Google Earth	323140,273	7364326,475	RF
443	PST3-75	Base do Google Earth	323551,177	7372414,736	CP
444	PST3-76	Base do Google Earth	323914,999	7363977,782	AU
445	PST3-77	Base do Google Earth	322034,340	7367136,948	FL
446	PST3-78	Base do Google Earth	320598,629	7370162,549	FL
447	PST3-79	Base do Google Earth	326626,663	7365796,640	FL
448	PST3-80	Base do Google Earth	320847,130	7366470,383	FL
449	PST3-81	Base do Google Earth	323822,456	7370756,182	RF
450	PST3-82	Base do Google Earth	324753,296	7364469,012	RF
451	PST3-83	Base do Google Earth	322455,005	7364841,353	FL
452	PST3-84	Base do Google Earth	322150,333	7370982,423	CP
453	PST3-85	Base do Google Earth	323139,166	7368874,197	FL
454	PST3-86	Base do Google Earth	319571,501	7364962,695	RF
455	PST3-87	Base do Google Earth	324956,681	7369390,109	RF
456	PST3-88	Base do Google Earth	321176,742	7364489,184	FL
457	PST3-89	Base do Google Earth	320018,768	7369789,147	FL
458	PST3-90	Base do Google Earth	324448,185	7366174,383	FL
459	PST3-91	Base do Google Earth	325330,701	7363146,134	AU
460	PST3-92	Base do Google Earth	324453,941	7363237,084	CP
461	PST3-93	Base do Google Earth	319927,779	7367811,927	RF
462	PST3-94	Base do Google Earth	321223,780	7364200,930	FL
463	PST3-95	Base do Google Earth	321306,981	7364667,593	RF
464	PST3-96	Base do Google Earth	326625,480	7363863,800	FL
465	PST3-97	Base do Google Earth	321567,194	7363949,458	RF
466	PST3-98	Base do Google Earth	318903,748	7367028,007	CP
467	PST3-99	Base do Google Earth	325459,007	7363414,643	CP
468	PST3-100	Base do Google Earth	322225,831	7369774,056	CP
469	PST3-101	Base do Google Earth	324220,214	7368065,888	FL
470	PST3-102	Base do Google Earth	322520,494	7363421,665	FL
471	PST3-103	Base do Google Earth	319007,175	7367838,108	FL
472	PST3-104	Base do Google Earth	321844,794	7369572,356	CP
473	PST3-105	Base do Google Earth	325031,826	7365588,175	FL
474	PST3-106	Base do Google Earth	323653,805	7362526,864	CP
475	PST3-107	Base do Google Earth	326451,315	7364646,087	AU
476	PST3-108	Base do Google Earth	316432,457	7365965,401	AD
477	PST3-109	Base do Google Earth	321953,668	7371678,057	SE
478	PST3-110	Base do Google Earth	325891,057	7361574,916	RF

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

(continuação)

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
479	PST3-111	Base do Google Earth	323357,191	7369144,492	FL
480	PST3-112	Base do Google Earth	323684,021	7366206,445	FL
481	PST3-113	Base do Google Earth	318115,446	7367224,603	FL
482	PST3-114	Base do Google Earth	322436,338	7367304,46	CP
483	PST3-115	Base do Google Earth	320013,879	7370191,229	CP
484	PST3-116	Base do Google Earth	324818,745	7368036,336	CP
485	PST3-117	Base do Google Earth	318840,070	7366170,615	RF
486	PST3-118	Base do Google Earth	323497,765	7365014,260	FL
487	PST3-119	Base do Google Earth	325162,899	7362916,694	FL
488	PST3-120	Base do Google Earth	321321,126	7367947,448	FL
489	PST3-121	Base do Google Earth	324661,739	7370297,709	AU
490	PST3-122	Base do Google Earth	323917,957	7369548,036	FL
491	PST3-123	Base do Google Earth	322960,261	7372594,030	FL
492	PST3-124	Base do Google Earth	322191,391	7367306,308	FL
493	PST3-125	Base do Google Earth	321167,939	7368318,847	FL
494	PST3-126	Base do Google Earth	322743,974	7363881,827	FL
495	PST3-127	Base do Google Earth	319246,388	7366378,913	RF
496	PST3-128	Base do Google Earth	318192,953	7368664,910	FL
497	PST3-129	Base do Google Earth	317805,976	7366309,905	RF
498	PST3-130	Base do Google Earth	323017,988	7363948,273	FL
499	PST3-131	Base do Google Earth	323894,417	7367908,064	FL
500	PST3-132	Base do Google Earth	322463,809	7366143,277	CP
501	PST3-133	Base do Google Earth	320453,370	7368905,155	CP
502	PST3-134	Base do Google Earth	321862,295	7366130,166	FL
503	PST3-135	Base do Google Earth	324913,736	7368086,926	CP
504	PST3-136	Base do Google Earth	317440,410	7367871,384	SE
505	PST3-137	Base do Google Earth	327058,511	7362407,654	FL
506	PST3-138	Base do Google Earth	324491,386	7366265,706	AD
507	PST3-139	Base do Google Earth	322203,504	7367281,345	FL
508	PST3-140	Base do Google Earth	323188,617	7371354,344	FL
509	PST3-141	Base do Google Earth	319333,289	7369862,231	CP
510	PST3-142	Base do Google Earth	318710,423	7365612,763	RF
511	PST3-143	Base do Google Earth	323323,697	7364942,459	AU
512	PST3-144	Base do Google Earth	321003,836	7370089,398	FL
513	PST3-145	Base do Google Earth	318932,023	7365638,751	RF
514	PST3-146	Base do Google Earth	326404,194	7365179,702	AU
515	PST3-147	Base do Google Earth	323253,345	7372412,285	CP
516	PST3-148	Base do Google Earth	319548,829	7370107,789	FL

Tabela 1 – Pontos de controle e avaliação das amostras de referência das UPs dos mapeamentos da classificação da APRMSP. O cabeçalho “Número” informa a ordem crescente dos pontos entre ST1 e ST3. O “Código do Ponto” é a abreviatura de ponto no setor com a ordem numérica crescente – 2018.

Número	Código do Ponto	Tipo de Observação	Coordenadas UTM		UP
			X	Y	
517	PST3-149	Base do Google Earth	324648,365	7367064,173	FL
518	PST3-150	Base do Google Earth	323288,026	7368967,169	FL
519	PST3-151	Base do Google Earth	322213,269	7368416,189	FL
520	PST3-152	Base do Google Earth	318958,495	7366808,153	CP
521	PST3-153	Base do Google Earth	321455,862	7370560,359	CP
522	PST3-154	Base do Google Earth	316711,861	7365606,41	AD
523	PST3-155	Base do Google Earth	326221,001	7362261,948	FL
524	PST3-156	Base do Google Earth	324209,272	7366321,003	AU
525	PST3-157	Base do Google Earth	323467,781	7365204,253	FL
526	PST3-158	Base do Google Earth	324205,228	7362879,779	CP
527	PST3-159	Base do Google Earth	324863,908	7366349,513	SE
528	PST3-160	Base do Google Earth	321883,116	7369074,125	FL
529	PST3-161	Base do Google Earth	324400,800	7365031,871	FL
530	PST3-162	Base do Google Earth	326611,368	7364637,956	CP
531	PST3-163	Base do Google Earth	323367,625	7370108,93	CP
532	PST3-164	Base do Google Earth	317264,056	7369182,577	AD
533	PST3-165	Base do Google Earth	320764,440	7371290,472	CP
534	PST3-166	Base do Google Earth	320390,062	7370082,310	FL
535	PST3-167	Base do Google Earth	320902,487	7372396,268	FL
536	PST3-168	Base do Google Earth	320792,756	7371101,702	FL
537	PST3-169	Base do Google Earth	326839,081	7362386,361	FL
538	PST3-170	Base do Google Earth	324068,297	7362692,814	RF
539	PST3-171	Base do Google Earth	317815,555	7369059,361	AD
540	PST3-172	Base do Google Earth	318720,562	7368819,230	FL
541	PST3-173	Base do Google Earth	316597,514	7365801,418	AD
542	PST3-174	Base do Google Earth	325011,061	7363337,516	AU
543	PST3-175	Base do Google Earth	322826,874	7363721,971	FL
544	PST3-176	Base do Google Earth	323908,034	7362965,836	FL
545	PST3-177	Base do Google Earth	321989,969	7364450,570	RF
546	PST3-178	Base do Google Earth	326261,581	7366129,721	RF
547	PST3-179	Base do Google Earth	317983,191	7368579,347	FL
548	PST3-180	Base do Google Earth	322408,627	7367974,179	CP
549	PST3-181	Base do Google Earth	324499,844	7368371,018	FL
550	PST3-182	Base do Google Earth	323023,193	7363826,150	AG
551	PST3-183	Base do Google Earth	325367,873	7362165,537	RF
552	PST3-184	Base do Google Earth	319326,619	7370750,836	FL

Fonte: AUTOR, 2018; GOOGLE Earth, 2018.

APÊNDICE B – Formulários dos Trabalhos de Campo na APRMSP

Os trabalhos de campo foram realizados no período entre 02/08/2018 e 07/08/2018, com o objetivo de observar a subamostra de 45 componentes das Unidades de Paisagem (UPs). A localização foi definida por sorteio de pontos, sobre o Mapa da Classificação Visual da APRMSP, sendo a referência para os polígonos dos componentes observados. A diferença entre o dado registrado pelo GPS e a localização no mapa foi determinada pela situação de acesso e o erro instrumental do GPS nos locais de controle. As observações foram realizadas por nós com a colaboração do pesquisador Marcelo Hideki Yamane.

Quadro 1 – Ponto 1 do Setor 1 (PST1-1) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 325372,429		Y = 7385974,455
Ponto – GPS	X = 325430,000		Y = 7385951,000
Data	07/08/2018		
Código do Ponto	PST1-1		
Local	Marginal Pinheiros. Rua Alexandre Dumas, 4.403. Estação CPTM Granja Julieta. Retiro Morumbi, São Paulo – SP.		
UP – Delimitada	Área Urbanizada		
UP – Observada	(X) Área Urbanizada	() Solo Exposto	() Campo
	() Reflorestamento	() Floresta	() Área Úmida
	() Água		
Azimute Magnético	285º		
Observações			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 2 – Ponto 2 do Setor 1 (PST1-2) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322915,688	Y = 7392045,358
Ponto – GPS	X = 322955,000	Y = 7392113,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-2	
Local	Rua Francisco dos Santos, n. 184. Jardim Rizzo, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	350º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 3 – Ponto 3 do Setor 1 (PST1-3) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 319568,426	Y = 7385097,076
Ponto – GPS	X = 319583,000	Y = 7385130,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-3	
Local	Rua Francisco de Holanda, 509/514. Jardim Maria Virginia, São Paulo.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	235º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 4 – Ponto 4 do Setor 1 (PST1-4) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322794,811	Y = 7386848,725
Ponto – GPS	X = 322922,000	Y = 7386929,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-4	
Local	Rua Dr. Oscar Monteiro de Barros, n. 430. Vila Suzana, São Paulo.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	70º	
Observações	Adjacente a um fragmento florestal.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 5 – Ponto 5 do Setor 1 (PST1-5) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 317639,357	Y = 7381540,482
Ponto – GPS	X = 317615,000	Y = 7381537,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-5	
Local	Rua Serra Dois Irmãos, n. 10. Reserva do Bosque Condomínio Club. Jardim Amalia, São Paulo.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	130º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 6 – Ponto 6 do Setor 1 (PST1-6) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 317907,793	Y = 7382417,719
Ponto – GPS	X = 317989,000	Y = 7382171,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-6	
Local	Avenida Dom Rodrigo Sanches com Rua Ana Aslan, na entrada EMEI Dolores Duran, n. 650. Jardim Amalia, São Paulo.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	(X) Área Urbanizada () Solo Exposto () Campo () Reflorestamento () Floresta () Área Úmida () Água	
Azimute Magnético	20º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 7 – Ponto 7 do Setor 1 (PST1-7) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 325860,508	Y = 7389366,618
Ponto – GPS	X = 325764,000	Y = 7389260,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-7	
Local	Rua Georges Agrícola, n. 152. Jardim Silvia, São Paulo.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	(X) Área Urbanizada () Solo Exposto () Campo () Reflorestamento () Floresta () Área Úmida () Água	
Azimute Magnético	190º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 8 – Ponto 8 do Setor 1 (PST1-8) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 319144,592	Y = 7391608,835
Ponto – GPS	X = 319188,000	Y = 7391651,000
Data	03/08/2018	
Código do Ponto	PST1-8	
Local	Avenida Darcy Reis, n. 1901. Ao lado do Colégio Albert Sabin. Parque dos Príncipes, São Paulo.	
UP – Delimitada	Reflorestamento	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☒ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	345º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 9 – Ponto 9 do Setor 1 (PST1-9) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322754,826	Y = 7385060,273
Ponto – GPS	X = 322260,000	Y = 7384794,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-9	
Local	Rua Alexandre Archipenko, n. 175. Após o Condomínio Panamby. Acesso da Giovanni. Vila Andrade, São Paulo – SP	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético		
Observações	Acesso difícil por falta de segurança. Verificação sem registro fotográfico ou ângulo de visada.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 10 – Ponto 10 do Setor 1 (PST1-10) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322754,826	Y = 7385060,273
Ponto – GPS	X = 322260,000	Y = 7384794,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-10	
Local	Rua Ramon Bayeu, n. 73. Vila Nova Alba. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	80º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 11 – Ponto 11 do Setor 1 (PST1-11) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 323437,841	Y = 7385113,136
Ponto – GPS	X = 323716,000	Y = 7385152,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-11	
Local	Rua Ribeirão da Prata, n. 23. Vila Andrade. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Reflorestamento	
UP – Observada	☐ () Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☒ (X) Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	270º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 12 – Ponto 12 do Setor 1 (PST1-12) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321730,826	Y = 7381184,581
Ponto – GPS	X = 321855,000	Y = 7381153,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-12	
Local	Rua Francisco Xavier de Sáles, n. 156. Chácara Santana. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	250º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 13 – Ponto 13 do Setor 1 (PST1-13) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321730,826	Y = 7381184,581
Ponto – GPS	X = 321939,000	Y = 7393951,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-13	
Local	Rua Autás, n. 80. Companhia Brasileira de Bebidas. Jaguaré. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	355º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 14 – Ponto 14 do Setor 1 (PST1-14) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 319108,207	Y = 7383207,599
Ponto – GPS	X = 319226,000	Y = 7383156,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-14	
Local	Rua Cromer, n. 60. Jardim Vale das Virtudes, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	70º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 15 – Ponto 15 do Setor 1 (PST1-15) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321420,177	Y = 7384269,201
Ponto – GPS	X = 320992,000	Y = 7384870,000
Data	02/08/2018	
Código do Ponto	PST1-15	
Local	Rua Professora Leitão da Cunha, n. 2287. Parque Arariba, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	240º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 16 – Ponto 1 do Setor 2 (PST2-1) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 323804,013	Y = 7374091,152
Ponto – GPS	X = 321557,000	Y = 7374940,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-1	
Local	Represa Guarapiranga. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Água	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☒ Água	
Azimute Magnético	240º	
Observações	Observado da posição do PST2-3.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 17 – Ponto 2 do Setor 2 (PST2-2) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 318298,640	Y = 7377132,276
Ponto – GPS	X = 318248,000	Y = 7377461,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-2	
Local	Rua Afeganistão, n. 109. Acesso pela Estrada do M'Boi Mirim, n. 7092. Jardim Solange, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Reflorestamento	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☒ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	150º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 18 – Ponto 3 do Setor 2 (PST2-3) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322145,734	Y = 7374183,603
Ponto – GPS	X = 321557,000	Y = 7374940,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-3	
Local	Estrada Cumbica, próximo ao Clube Guaraci. Balneário Dom Carlos, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	240º	
Observações	Fazenda com pastagem para gado.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 19 – Ponto 4 do Setor 2 (PST2-4) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321906,769	Y = 7377484,624
Ponto – GPS	X = 321888,000	Y = 7377497,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-4	
Local	Rua Padre Claro, n. 363. Riviera Paulista, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	80º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 20 – Ponto 5 do Setor 2 (PST2-5) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 318782,581	Y = 7376431,607
Ponto – GPS	X = 318777,000	Y = 7376360,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-5	
Local	Rua das Ubelíferas, n. 349. No cruzamento com a Rua Nagaça, n. 70. Parque do Lago, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	(X) Área Urbanizada () Solo Exposto () Campo () Reflorestamento () Floresta () Área Úmida () Água	
Azimute Magnético	60º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 21 – Ponto 6 do Setor 2 (PST2-6) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 324051,774	Y = 7379056,584
Ponto – GPS	X = 321557,000	Y = 7374940,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-6	
Local	Represa Guarapiranga. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Água	
UP – Observada	() Área Urbanizada () Solo Exposto () Campo () Reflorestamento () Floresta () Área Úmida (X) Água	
Azimute Magnético	240º	
Observações	Observado da posição do PST2-3.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 22 – Ponto 7 do Setor 2 (PST2-7) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321686,504	Y = 7375911,217
Ponto – GPS	X = 321005,000	Y = 7375647,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-7	
Local	Represa Guarapiranga. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Água	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☒ Água	
Azimute Magnético	10º	
Observações	Observado nas proximidades da posição do PST2-14.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 23 – Ponto 8 do Setor 2 (PST2-8) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 318833,869	Y = 7375946,231
Ponto – GPS	X = 318804,000	Y = 7375971,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-8	
Local	Estrada da Baronesa, n. 700. Atlético Clube Julião. Parque Bologne, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	135º	
Observações	Céu totalmente nublado e chuveiro no momento da verificação.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 24 – Ponto 9 do Setor 2 (PST2-9) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321723,212	Y = 7379357,888
Ponto – GPS	X = 321556,000	Y = 7379154,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-9	
Local	Rua John Martin, n. 93. Acesso pela Avenida Guarapiranga. Jardim São Joaquim, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ (X) Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☐ () Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	60º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 25 – Ponto 10 do Setor 2 (PST2-10) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 316924,828	Y = 7374534,455
Ponto – GPS	X = 317256,000	Y = 7375035,000
Data	05/08/2018	
Código do Ponto	PST2-10	
Local	Estrada João Rodrigues de Moraes, n. 910. Parque Santa Bárbara, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ () Área Urbanizada ☐ () Solo Exposto ☐ () Campo ☐ () Reflorestamento ☒ (X) Floresta ☐ () Área Úmida ☐ () Água	
Azimute Magnético	310º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 26 – Ponto 11 do Setor 2 (PST2-11) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 320726,435	Y = 7378148,984
Ponto – GPS	X = 320917,000	Y = 7378162,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-11	
Local	Avenida Nova Arcádia, n. 344. Riviera Paulista, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	210º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 27 – Ponto 12 do Setor 2 (PST2-12) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322921,256	Y = 7374239,547
Ponto – GPS	X = 321557,000	Y = 7374990,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-12	
Local	Represa Guarapiranga. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Água	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☒ Água	
Azimute Magnético	240º	
Observações	Observado da posição do PST2-3.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 28 – Ponto 13 do Setor 2 (PST2-13) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 317369,561	Y = 7376379,470
Ponto – GPS	X = 317789,000	Y = 7375832,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-13	
Local	Rua da Olária, n. 241. Acesso pela Estrada do M'Boi Mirim. Parque do Lago, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	340º	
Observações	Área de Proteção Ambiental.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 29 – Ponto 14 do Setor 2 (PST2-14) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321041,297	Y = 7375785,504
Ponto – GPS	X = 321005,000	Y = 7375647,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-14	
Local	Estrada Cumbica, cruzamento com R. Eng. Milton De Alvarenga Peixoto. Em frente ao Depósito Ceará. Cidade Ipava, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	10º	
Observações	Fragmento isolado por solo exposto em construção.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 30 – Ponto 15 do Setor 2 (PST2-15) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 323395,961	Y = 7376970,395
Ponto – GPS	X = 323349,000	Y = 7377097,000
Data	06/08/2018	
Código do Ponto	PST2-15	
Local	Rua Marizeiro, n. 736. Organização SOS Represa Guarapiranga. Praia Azul, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	205º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 31 – Ponto 1 do Setor 3 (PST3-1) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 317237,990	Y = 7365935,509
Ponto – GPS	X = 317233,000	Y = 7365663,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-1	
Local	Estrada da Limosa até a Avenida Ernesto João Marcelino, n. 2200. Aquajet Comércio de Águas. Na divisa entre os Municípios de São Paulo e Embu-Guaçu. São Paulo/Embu-Guaçu – SP.	
UP – Delimitada	Reflorestamento	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☒ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	105º	
Observações	Vizinho do PST3-14.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 32 – Ponto 2 do Setor 3 (PST3-2) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322737,578	Y = 7367496,698
Ponto – GPS	X = 322758,000	Y = 7367492,000
Data	05/08/2018	
Código do Ponto	PST3-2	
Local	Rua Adão Cabral Neto, n. 530. Recanto Campo Belo, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	5º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 33 – Ponto 3 do Setor 3 (PST3-3) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 326624,861	Y = 7364328,566
Ponto – GPS	X = 326386,000	Y = 7364649,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-3	
Local	Rua Domênico Lanzeti, n. 350-382. Em frente ao Mercado Preço Real. Parelheiros, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	280º	
Observações	Saneamento básico precário. É frequente o esgoto escoar na superfície das ruas. Área Urbanizada dentro da Área de Proteção Ambiental Bororé-Colônia.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 34 – Ponto 4 do Setor 3 (PST3-4) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 318607,504	Y = 7368422,167
Ponto – GPS	X = 318901,000	Y = 7368104,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-4	
Local	Estrada Jaceguava, n. 1306. Guarapiranga Golf & Country Club, km 7. Parelheiros, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	310º	
Observações	Área particular com acesso restrito. Os seguranças não permitiram a nossa entrada no local. Os dados foram coletados ao lado da cerca do campo de golfe, já na parte externa, em um trecho do Parque Natural Municipal (PNM) Jaceguava. Mesma unidade do PST3-10.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 35 – Ponto 5 do Setor 3 (PST3-5) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 326431,599	Y = 7365710,653
Ponto – GPS	X = 325324,000	Y = 7365841,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-5	
Local	Avenida Professor Hermógenes de Freitas Leitão Filho, n. 5883. Chácara do Joazinho, Jardim São Norberto. Parelheiros, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	70º	
Observações	A floresta observada está na Área de Proteção Ambiental Bororé-Colônia e no Parque Natural Municipal (PNM) Itaim. Presença de eucalipto e pinus nos trechos mais próximos da avenida.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 36 – Ponto 6 do Setor 3 (PST3-6) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 322356,205	Y = 7369295,274
Ponto – GPS	X = 322148,000	Y = 7369225,000
Data	05/08/2018	
Código do Ponto	PST3-6	
Local	Avenida Jaceguava, n. 2892. Balneário São José, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	190º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 37 – Ponto 7 do Setor 3 (PST3-7) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 324108,970	Y = 7364141,623
Ponto – GPS	X = 324085,000	Y = 7364304,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-7	
Local	Rua Euzébio Coghi, n. 47. Próximo da Igreja Internacional da Graça de Deus. Parelheiros. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Solo Exposto	
UP – Observada	☒ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	150º	
Observações	Conversão de uso de Solo Exposto para Área Urbanizada. Hospital Municipal de Parelheiros construído entre 2014 e 2018. Manter Solo Exposto na classificação.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 38 – Ponto 8 do Setor 3 (PST3-8) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321327,417	Y = 7368653,227
Ponto – GPS	X = 321151,000	Y = 7368667,000
Data	05/08/2018	
Código do Ponto	PST3-8	
Local	Avenida Jaceguava, n. 6300. Distância de 650 m após o endereço. Parelheiros. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético		
Observações	Céu totalmente nublado e chuva no momento da verificação. Sem medida de azimute.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 39 – Ponto 9 do Setor 3 (PST3-9) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 324485,334	Y = 7364598,809
Ponto – GPS	X = 324463,000	Y = 7364607,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-9	
Local	Acesso no cruzamento entre a Travessa Tv. Engenho Velho com a Rua Américo Coxa. Caminhada por uma trilha de 300 m até o local da amostra. Parelheiros. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	240º	
Observações	Solo exposto no centro da amostra, que está na Área de Proteção Ambiental Bororé-Colônia.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 40 – Ponto 10 do Setor 3 (PST3-10) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 318309,635	Y = 7368325,081
Ponto – GPS	X = 318901,000	Y = 7368104,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-10	
Local	Estrada Jaceguava, n. 1306. Guarapiranga Golf & Country Club, km 7. Parelheiros, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	310º	
Observações	Área particular com acesso restrito. Os seguranças não permitiram a nossa entrada no local. Os dados foram coletados ao lado da cerca do campo de golfe, já na parte externa, em um trecho do Parque Natural Municipal (PNM) Jaceguava. Mesma unidade do PST3-4.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 41 – Ponto 11 do Setor 3 (PST3-11) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 321334,735	Y = 7365486,169
Ponto – GPS	X = 321213,000	Y = 7365515,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-11	
Local	Rua Henrique Hessel, 3000. Parque Florestal, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Campo	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☒ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	305º	
Observações	Revisar a área construída desse setor.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 42 – Ponto 12 do Setor 3 (PST3-12) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 319950,287	Y = 7371364,499
Ponto – GPS	X = 320336,000	Y = 7372501,000
Data	05/08/2018	
Código do Ponto	PST3-12	
Local	Avenida Dra. Carlota Pereira de Queirós, 1406. Jardim das Palmeiras, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Úmida	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☒ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	210º	
Observações		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 43 – Ponto 13 do Setor 3 (PST3-13) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 320484,867	Y = 7368047,631
Ponto – GPS	X = 320516,000	Y = 7368305,000
Data	05/08/2018	
Código do Ponto	PST3-13	
Local	Estrada Jaceguava, n. 14. Recanto Campo Belo, São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético		
Observações	Alguns eucaliptos na borda da floresta. Localizada entre a faixa de domínio do Rodoanel Mário Covas e o Parque Natural Municipal (PNM) Itaim. Na Zona de Amortecimento do PNM Itaim. Céu totalmente nublado e chuva no momento da verificação. Sem medida de azimute.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 44 – Ponto 14 do Setor 3 (PST3-14) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 317056,559	Y = 7365992,636
Ponto – GPS	X = 317233,000	Y = 7365663,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-14	
Local	Estrada da Limosa até a Avenida Ernesto João Marcelino, n. 2200. Aquajet Comércio de Águas. Na divisa entre os Municípios de São Paulo e Embu-Guaçu. São Paulo / Embu-Guaçu – SP.	
UP – Delimitada	Floresta	
UP – Observada	☐ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☒ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético	260º	
Observações	Vizinho do PST3-1.	

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 45 – Ponto 15 do Setor 3 (PST3-15) da APRMSP. O ponto registrado pelo GPS indica a posição do observador em relação à amostra com erro aproximado de 20 m – 2018.

Localização	X = 326633,119	Y = 7362448,629
Ponto – GPS	X = 326656,000	Y = 7362554,000
Data	04/08/2018	
Código do Ponto	PST3-15	
Local	Estrada do Pedro Rocha A Colina. O ponto está a 140 m da entrada da Rua Henrique Reimberg. Jardim Novo Parelheiros. São Paulo – SP.	
UP – Delimitada	Área Urbanizada	
UP – Observada	☒ Área Urbanizada ☐ Solo Exposto ☐ Campo ☐ Reflorestamento ☐ Floresta ☐ Área Úmida ☐ Água	
Azimute Magnético		
Observações	O ponto está nas construções para armazenamento de uma fazenda, na Área de Proteção Ambiental Bororé-Colônia. Céu totalmente nublado e chuva no momento da verificação. Sem medida de azimute.	

Fonte: AUTOR, 2018.

APÊNDICE C – Dados utilizados nas técnicas de avaliação das classificações e dos classificadores: matriz de confusão, estatística Kappa e votação

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continua)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
1	AU	FL	AU	AU	AU	SE
2	AU	AU	AU	AU	AU	AU
3	AU	RF	AU	AU	AU	AU
4	AU	CP	AU	AU	AU	AU
5	AU	AU	AU	AU	AU	SE
6	AU	CP	CP	AD	CP	CP
7	AU	AU	AU	AU	AU	CP
8	RF	RF	SE	AU	CP	FL
9	AU	AU	AU	AU	AU	AU
10	AU	AU	AU	AU	AU	AU
11	RF	RF	RF	RF	RF	RF
12	AU	AU	AU	AU	AU	AU
13	AU	AU	AU	AU	AU	AU
14	AU	AU	AU	AU	AU	AU
15	AU	AU	AU	AU	AU	AU
16	AU	AD	SE	AU	SE	AU
17	RF	AG	RF	AG	RF	AG
18	AU	AU	AU	AU	AU	AU
19	AU	RF	CP	AD	CP	AU
20	AU	RF	AD	AD	CP	FL
21	AU	AU	AU	AU	AU	AU
22	AU	AU	AU	AU	AU	AU
23	AU	AU	AU	AU	AU	AU
24	FL	AD	CP	AD	CP	FL
25	AU	AU	AU	AU	AU	AU
26	AU	SE	SE	SE	SE	AU
27	AU	SE	SE	SE	SE	AU
28	AU	AG	AG	AG	AG	AG
29	RF	CP	CP	SE	CP	CP
30	AU	AU	AU	AU	AU	AU
31	AU	AU	AU	AU	AU	AU
32	AU	AU	AU	AU	AU	AU
33	AU	AU	AU	AU	AU	AU
34	FL	RF	AU	AU	AU	AU
35	AU	AU	AU	AU	AU	AU
36	RF	RF	RF	FL	FL	FL
37	RF	RF	RF	RF	RF	RF

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
38	AU	AU	AU	AU	AU	AU
39	RF	AD	AD	AD	CP	FL
40	AU	AU	AU	AU	AU	AU
41	AU	AU	AU	AU	AU	AU
42	AU	AU	AU	AU	AU	AU
43	AU	SE	SE	SE	SE	AU
44	AU	AU	AU	AU	AU	AU
45	FL	FL	FL	FL	FL	FL
46	AU	AU	AU	AU	AU	AU
47	FL	FL	FL	FL	FL	FL
48	FL	RF	FL	RF	FL	FL
49	AU	AU	AU	AU	AU	AU
50	AU	AU	SE	AU	AU	AU
51	AU	AG	SE	AU	AU	AU
52	AU	AU	AU	AG	AU	AU
53	AU	AG	AG	AG	AU	AU
54	AD	AD	AD	AD	AD	FL
55	RF	AD	AU	AU	AU	AU
56	AU	SE	SE	SE	SE	AU
57	CP	AD	AD	CP	CP	CP
58	AU	AU	AU	AU	AU	AU
59	FL	RF	RF	RF	FL	RF
60	AU	AU	AU	AU	AU	AU
61	AG	AG	AG	AG	AG	AG
62	AU	AU	AU	AU	AU	AU
63	AU	AU	CP	AU	AU	AU
64	AU	RF	AU	AU	AU	AU
65	AU	RF	AU	AU	AU	FL
66	RF	FL	FL	FL	FL	FL
67	AU	AD	SE	SE	SE	AU
68	AU	AU	AU	AU	AU	AU
69	AU	AU	AU	AU	AU	AU
70	AU	AU	AU	AU	AU	SE
71	AU	AU	SE	AU	AU	AU
72	CP	AD	CP	AD	CP	CP
73	AU	AU	AU	AU	AU	AU
74	AU	AU	AU	AU	AU	AU
75	AU	AU	AU	AU	AU	AU
76	AU	AU	AU	AU	AU	AU
77	CP	FL	AD	AD	CP	CP
78	AU	AU	AU	AU	AU	AU
79	AU	AU	AU	AU	AU	AU

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
80	AU	AU	AU	AU	AU	AU
81	FL	AD	RF	AD	RF	AD
82	AU	AG	AG	AU	AU	AU
83	CP	CP	CP	AD	CP	AU
84	AU	AU	AU	AU	AU	AU
85	AU	AU	AU	AU	AU	AU
86	AU	AU	AU	AU	AU	AU
87	FL	AD	FL	RF	FL	FL
88	AU	AU	AU	AU	AU	AU
89	AU	AU	CP	AD	CP	AU
90	FL	FL	FL	FL	FL	FL
91	CP	FL	CP	AD	CP	CP
92	FL	AD	CP	AD	CP	FL
93	AU	AU	AU	AU	AU	AU
94	AU	AU	AU	AU	AU	AU
95	CP	FL	FL	FL	CP	CP
96	AU	AU	AU	AU	AU	AU
97	FL	AU	SE	AU	AU	AU
98	AU	AD	SE	AU	AU	AU
99	FL	FL	RF	FL	FL	FL
100	RF	RF	RF	RF	FL	RF
101	AU	AU	SE	AU	AU	AU
102	AU	AU	AU	AU	AU	AU
103	AU	AG	RF	AG	RF	AD
104	FL	FL	CP	RF	FL	CP
105	AG	AG	AG	AG	AG	AG
106	AU	AD	CP	AD	CP	AU
107	AU	AU	AU	AU	AU	AU
108	AU	SE	SE	SE	SE	AU
109	AU	AU	AU	AU	AU	AU
110	AU	AU	AU	AU	AU	AU
111	AU	AU	AU	AU	AU	AU
112	AU	AU	AU	AU	AU	AU
113	AU	SE	SE	SE	SE	AU
114	AU	SE	SE	SE	SE	AU
115	AU	AU	AU	AU	AU	AU
116	AU	SE	SE	SE	SE	AU
117	AU	AU	AU	AU	AU	AU
118	AU	SE	SE	SE	SE	AU
119	AU	AU	AU	AU	AU	AU
120	AU	AD	AD	AU	AU	AU
121	AU	AU	AU	AU	AU	AU

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
122	AU	AU	AU	AU	AU	AU
123	AU	AU	AU	AU	AU	AU
124	AU	SE	SE	SE	SE	AU
125	AU	RF	AU	AU	AU	AU
126	FL	RF	AD	AD	CP	FL
127	AU	AU	AU	AU	AU	AU
128	AU	AU	AU	AU	AU	AU
129	AU	AU	AU	AU	AU	AU
130	AU	AD	CP	AU	AU	AU
131	AU	AU	AU	AU	AU	AU
132	FL	FL	CP	AD	CP	CP
133	AU	AD	AD	AD	AD	FL
134	FL	FL	FL	RF	FL	FL
135	AU	AU	AG	AU	AU	AU
136	AU	CP	CP	AD	CP	CP
137	AU	AU	AU	AU	AU	AU
138	CP	CP	CP	AD	CP	AU
139	FL	RF	RF	RF	FL	FL
140	AU	AU	AU	AU	AU	AU
141	AU	SE	SE	AU	AU	AU
142	AU	AU	AU	AG	AU	AU
143	CP	AD	AD	AD	CP	CP
144	RF	AD	AD	AD	FL	FL
145	FL	AD	AD	AD	FL	FL
146	AU	AU	AU	AU	AU	AU
147	AU	FL	CP	AD	CP	AU
148	FL	RF	RF	AU	AU	FL
149	AU	SE	SE	SE	SE	AU
150	AU	AD	AU	AD	FL	FL
151	AG	AG	AG	AG	AG	AG
152	AU	AU	AU	AU	AU	AU
153	AU	AU	AU	AU	AU	AU
154	RF	RF	RF	RF	RF	RF
155	AU	AU	SE	AU	AU	AU
156	AU	AU	AU	AU	AU	AU
157	AU	AU	AU	AU	AU	AU
158	AU	AU	AU	AU	AU	AU
159	FL	FL	CP	AD	CP	AU
160	AU	AU	AU	AU	AU	AU
161	AU	AU	AU	AU	AU	AU
162	AU	AU	AU	AU	AU	AU
163	AU	AU	AU	AU	AU	AU

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
164	AU	AU	AU	AU	AU	SE
165	AU	AU	AU	AU	AU	AU
166	AU	AG	AU	AU	AU	AU
167	FL	AU	CP	AD	CP	FL
168	AU	SE	SE	SE	SE	AU
169	AU	AU	AU	AU	AU	AU
170	AU	AU	AU	AU	AU	AD
171	AU	RF	AU	AU	AU	AU
172	AU	AU	AU	AU	AU	AU
173	AU	AU	AU	AU	AU	AU
174	AU	AU	SE	AU	AU	AU
175	CP	FL	FL	RF	FL	FL
176	AU	AU	AU	AU	AU	AU
177	RF	FL	RF	FL	FL	FL
178	FL	FL	FL	FL	FL	FL
179	AU	RF	RF	AU	AU	AD
180	FL	RF	FL	AD	FL	FL
181	AU	AU	AU	AU	AU	AU
182	AU	AU	AU	AU	AU	AU
183	AU	AU	AU	AU	AU	AU
184	AU	AG	AG	AG	AG	AD
185	AG	AG	AG	AG	AG	AG
186	RF	RF	RF	RF	RF	RF
187	CP	CP	CP	CP	CP	CP
188	AU	AU	AU	SE	AU	AU
189	AU	AU	SE	AU	AU	FL
190	AG	AG	AG	AG	AG	AG
191	AG	AG	AG	AG	AG	AG
192	CP	AD	AU	AU	AU	AU
193	AU	AU	AU	AU	AU	AU
194	FL	AD	AD	AD	CP	FL
195	FL	FL	FL	FL	FL	FL
196	AG	AG	AG	AG	AG	AG
197	FL	FL	FL	FL	FL	FL
198	FL	AD	AD	AD	CP	CP
199	FL	AG	RF	RF	RF	AD
200	SE	SE	SE	SE	SE	AU
201	AG	AG	AG	AG	AG	AG
202	AG	AG	AG	AG	AG	AG
203	AU	AU	SE	AU	AU	AU
204	FL	FL	FL	FL	FL	FL
205	AD	AD	FL	AD	AD	FL

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
206	FL	FL	FL	FL	FL	FL
207	AG	AG	AG	AG	AG	AG
208	CP	CP	CP	CP	CP	CP
209	AU	AU	AU	AU	AU	AU
210	AU	AU	SE	AU	AU	AU
211	AG	AG	AG	AG	AG	AG
212	AG	AG	AG	AG	AG	AG
213	AU	AU	AU	AU	AU	AU
214	AU	AU	AU	AU	AU	SE
215	AG	AG	AG	AG	AG	AG
216	FL	FL	FL	RF	FL	FL
217	AG	AG	AG	AG	AG	AG
218	AG	AG	AG	AG	AG	AG
219	FL	FL	FL	FL	FL	FL
220	AG	AG	AG	AG	AG	AG
221	AG	AG	AG	AG	AG	AG
222	AG	AG	AG	AG	AG	AG
223	AU	AU	AU	AU	AU	AU
224	AU	SE	SE	SE	SE	AU
225	CP	AD	AD	AD	CP	CP
226	AU	AU	CP	SE	CP	AU
227	AG	AG	AG	AG	AG	AG
228	AG	AG	AG	AG	AG	AG
229	RF	RF	AU	AU	AU	FL
230	AG	AG	AG	AG	AG	AG
231	RF	AD	CP	AD	CP	FL
232	CP	CP	CP	CP	CP	CP
233	AG	AG	AG	AG	AG	AG
234	AG	AG	AG	AG	AG	AG
235	FL	RF	RF	RF	RF	RF
236	AG	AG	AG	AG	AG	AG
237	AG	AG	AG	AG	AG	AG
238	FL	AD	FL	CP	FL	CP
239	AG	AG	AG	AG	AG	AG
240	AG	AG	AG	AG	AG	AG
241	FL	FL	FL	FL	FL	FL
242	AG	AG	AG	AG	AG	AG
243	AG	AG	AG	AG	AG	AG
244	AU	AG	AU	AU	AU	AU
245	FL	RF	RF	FL	RF	FL
246	AG	AG	AG	AG	AG	AG
247	AG	AG	AG	AG	AG	AG

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
248	FL	CP	FL	FL	CP	FL
249	FL	CP	AD	CP	CP	CP
250	FL	FL	FL	FL	FL	FL
251	AG	AG	AG	AG	AG	AG
252	AU	AU	AU	AU	AU	AU
253	FL	AD	FL	RF	FL	FL
254	CP	AD	CP	CP	CP	CP
255	AG	AG	AG	AG	AG	AG
256	FL	FL	FL	FL	FL	FL
257	FL	FL	AU	AD	CP	CP
258	CP	AD	CP	AD	CP	CP
259	RF	RF	RF	RF	RF	RF
260	AU	AU	AU	AU	AU	AU
261	AU	AU	AU	AU	AU	AU
262	AU	AU	AU	AU	AU	AU
263	FL	FL	FL	FL	FL	FL
264	AG	AG	AG	AG	AG	AG
265	AG	AG	AG	AG	AG	AG
266	AG	AG	AG	AG	AG	AG
267	RF	RF	RF	RF	FL	RF
268	AG	AG	AG	AG	AG	AG
269	AG	AG	AG	AG	AG	AG
270	AG	AG	AG	AG	AG	AG
271	AG	AG	AG	AG	AG	AG
272	AG	AG	AG	AG	AG	AG
273	AG	AG	AG	AG	AG	AG
274	FL	RF	RF	RF	RF	AD
275	AU	AU	AU	AU	AU	AU
276	AU	AU	AU	AU	AU	AU
277	AU	AU	AU	AU	AU	AU
278	FL	FL	FL	FL	FL	FL
279	FL	RF	CP	AD	CP	FL
280	AG	AG	AG	AG	AG	AG
281	RF	RF	RF	RF	RF	RF
282	AG	AG	AG	AG	AG	AG
283	AG	AG	AG	AG	AG	AG
284	AG	AG	AG	AG	AG	AG
285	FL	RF	RF	RF	RF	RF
286	AU	AU	AU	AU	AU	AU
287	AU	AU	SE	SE	AU	AU
288	AG	AG	AG	AG	AG	AG
289	CP	CP	CP	CP	CP	CP

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
290	AG	AG	AG	AG	AG	AG
291	AG	AG	AG	AG	AG	AG
292	AU	AU	SE	AU	AU	AU
293	FL	CP	FL	FL	CP	FL
294	CP	FL	CP	FL	CP	CP
295	AU	AU	AU	AU	AU	AU
296	SE	AG	SE	AU	AU	AU
297	AG	AG	AG	AG	AG	AG
298	AU	AU	AU	AU	AU	AU
299	AG	AG	AG	AG	AG	AG
300	AU	AU	AU	AU	AU	AU
301	AU	SE	SE	SE	SE	AU
302	AU	AU	AU	AU	AU	AU
303	AU	AU	AU	AU	AU	AU
304	FL	AD	FL	RF	FL	CP
305	AU	AU	AU	AU	AU	AU
306	FL	CP	AD	FL	CP	CP
307	AG	AG	AG	AG	AG	AG
308	AU	AU	SE	AU	AU	AU
309	AG	AG	RF	AG	RF	AD
310	FL	RF	RF	RF	RF	FL
311	FL	FL	FL	FL	FL	CP
312	CP	CP	AD	CP	CP	CP
313	AG	AG	AG	AG	AG	AG
314	AU	AU	AU	AU	AU	AU
315	AG	AG	AG	AG	AG	AG
316	AG	AG	AG	AG	AG	AG
317	AG	AG	AG	AG	AG	AG
318	RF	RF	RF	RF	RF	RF
319	FL	FL	FL	FL	FL	FL
320	FL	AD	FL	AD	FL	FL
321	AG	AG	AG	AG	AG	AG
322	AG	AG	AG	AG	AG	AG
323	RF	FL	FL	FL	FL	FL
324	FL	FL	RF	FL	FL	FL
325	RF	FL	FL	FL	FL	FL
326	AU	RF	SE	AU	CP	AU
327	FL	RF	AD	AD	RF	RF
328	CP	RF	AD	AD	AD	FL
329	AG	AG	AG	AG	AG	AG
330	AU	AU	AU	AU	AU	AU
331	AG	AG	RF	RF	RF	AG

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
332	AG	AG	AG	AG	AG	AG
333	FL	FL	RF	RF	FL	FL
334	FL	RF	RF	RF	RF	RF
335	SE	SE	SE	SE	SE	AU
336	FL	FL	FL	FL	FL	FL
337	FL	FL	FL	FL	FL	FL
338	AG	AG	AG	AG	AG	AG
339	AG	AG	AG	AG	AG	AG
340	AG	AG	AG	AG	AG	AG
341	FL	FL	CP	FL	CP	CP
342	FL	AD	AD	AD	CP	FL
343	CP	CP	AD	CP	CP	CP
344	AU	AU	AU	AU	AU	AU
345	CP	AD	AD	AD	CP	CP
346	AU	AG	AU	AU	AU	AU
347	AG	AG	AG	AG	AG	AG
348	AU	AU	AU	AU	AU	AU
349	AG	AG	AG	AG	AG	AG
350	SE	CP	CP	CP	CP	CP
351	AU	AU	AU	AU	AU	AU
352	AU	AU	AU	AU	AU	AU
353	AU	AU	AU	AU	AU	AU
354	AG	AG	AG	AG	AG	AG
355	CP	CP	AD	CP	CP	CP
356	AG	AG	AG	AG	AG	AG
357	AD	CP	AD	CP	CP	CP
358	FL	AD	AD	AD	CP	FL
359	AU	RF	AU	AU	AU	AU
360	FL	FL	FL	FL	FL	FL
361	FL	FL	FL	FL	FL	FL
362	CP	RF	AD	AD	FL	RF
363	AG	AG	AG	AG	AG	AG
364	CP	CP	AD	CP	CP	CP
365	AU	AU	AU	AU	AU	AU
366	AU	SE	SE	SE	CP	AU
367	FL	FL	FL	FL	FL	FL
368	AG	AG	AG	AG	AG	AG
369	RF	FL	FL	FL	FL	FL
370	CP	CP	CP	CP	CP	CP
371	AU	AU	AU	SE	AU	AU
372	CP	CP	CP	CP	CP	CP
373	FL	FL	FL	FL	FL	FL

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
374	CP	CP	CP	CP	CP	CP
375	SE	RF	SE	AU	AU	AU
376	FL	FL	FL	FL	FL	FL
377	CP	AD	CP	SE	CP	AU
378	CP	FL	FL	FL	FL	CP
379	CP	CP	CP	FL	CP	CP
380	AD	RF	RF	RF	RF	RF
381	FL	AD	AD	AD	FL	FL
382	FL	FL	FL	FL	FL	FL
383	AU	RF	SE	AU	AU	AU
384	SE	AD	AD	AD	AD	FL
385	RF	FL	FL	FL	FL	FL
386	CP	AD	AD	AD	CP	CP
387	FL	FL	FL	FL	FL	FL
388	FL	FL	FL	FL	FL	FL
389	FL	FL	FL	FL	FL	FL
390	FL	FL	FL	FL	FL	FL
391	FL	FL	FL	FL	FL	FL
392	FL	FL	FL	FL	FL	FL
393	FL	FL	FL	FL	FL	FL
394	FL	RF	RF	RF	RF	RF
395	AD	AD	AD	AD	CP	CP
396	AU	CP	CP	CP	CP	CP
397	AD	AD	RF	AD	RF	RF
398	FL	FL	FL	FL	FL	FL
399	RF	FL	FL	FL	FL	FL
400	FL	FL	FL	FL	FL	FL
401	FL	FL	FL	FL	FL	FL
402	CP	CP	CP	AD	CP	CP
403	FL	RF	RF	FL	FL	FL
404	AD	AD	AD	AD	AD	RF
405	FL	FL	FL	FL	FL	FL
406	FL	AD	FL	FL	FL	FL
407	RF	AG	RF	RF	RF	RF
408	FL	RF	FL	AD	CP	FL
409	FL	FL	FL	FL	CP	FL
410	FL	FL	RF	FL	FL	FL
411	CP	FL	AD	AD	CP	CP
412	RF	AD	AD	SE	FL	FL
413	RF	RF	RF	RF	FL	RF
414	FL	FL	FL	FL	FL	FL
415	CP	CP	CP	FL	CP	CP

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
416	FL	FL	FL	FL	FL	FL
417	CP	AD	CP	AD	CP	FL
418	AD	AD	AD	CP	CP	CP
419	FL	RF	RF	FL	FL	FL
420	AG	AG	AG	AG	AG	AG
421	CP	CP	AD	CP	CP	CP
422	RF	RF	RF	RF	FL	RF
423	FL	FL	FL	FL	FL	FL
424	FL	FL	FL	FL	FL	FL
425	CP	FL	CP	FL	CP	CP
426	AG	AG	CP	AU	CP	FL
427	FL	RF	RF	FL	RF	FL
428	RF	FL	FL	FL	FL	FL
429	CP	FL	AD	AD	CP	CP
430	FL	FL	FL	FL	FL	FL
431	FL	FL	FL	RF	FL	FL
432	FL	FL	FL	FL	FL	FL
433	AU	AD	CP	AU	CP	AU
434	FL	FL	FL	FL	FL	FL
435	FL	CP	FL	FL	FL	FL
436	CP	CP	AD	FL	CP	FL
437	FL	FL	FL	FL	FL	FL
438	FL	AD	RF	RF	RF	RF
439	FL	FL	FL	FL	FL	FL
440	CP	CP	CP	AD	CP	CP
441	FL	FL	FL	FL	FL	FL
442	RF	FL	AD	CP	CP	CP
443	CP	CP	CP	CP	CP	CP
444	AU	AU	AU	AU	AU	AU
445	FL	AD	RF	AD	CP	FL
446	FL	FL	FL	FL	FL	FL
447	FL	FL	RF	FL	FL	FL
448	FL	FL	FL	FL	FL	FL
449	RF	RF	RF	RF	RF	RF
450	RF	RF	RF	FL	FL	FL
451	FL	FL	FL	FL	FL	FL
452	CP	CP	CP	CP	CP	CP
453	FL	FL	FL	FL	FL	FL
454	RF	FL	FL	FL	FL	FL
455	RF	RF	AU	AD	CP	FL
456	FL	FL	FL	FL	FL	FL
457	FL	FL	FL	FL	FL	FL

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
458	FL	FL	FL	FL	FL	FL
459	AU	AU	AU	AU	AU	AU
460	CP	CP	AD	FL	CP	CP
461	RF	FL	FL	FL	FL	FL
462	FL	AD	FL	FL	FL	FL
463	RF	RF	RF	FL	RF	FL
464	FL	FL	FL	FL	FL	FL
465	RF	RF	RF	RF	RF	RF
466	CP	AD	AD	AD	CP	RF
467	CP	CP	CP	FL	CP	CP
468	CP	CP	AD	FL	CP	CP
469	FL	FL	FL	FL	FL	FL
470	FL	FL	FL	FL	FL	FL
471	FL	FL	FL	FL	FL	FL
472	CP	AD	CP	AD	CP	CP
473	FL	FL	FL	FL	FL	FL
474	CP	CP	CP	FL	CP	FL
475	AU	SE	SE	SE	SE	AU
476	AD	AG	AD	AD	RF	RF
477	SE	SE	SE	SE	SE	AU
478	RF	RF	RF	RF	RF	RF
479	FL	FL	FL	FL	FL	FL
480	FL	FL	FL	FL	FL	FL
481	FL	FL	FL	FL	FL	FL
482	CP	CP	CP	AD	CP	CP
483	CP	FL	AD	AD	CP	CP
484	CP	AD	AD	AD	AD	FL
485	RF	FL	FL	FL	FL	FL
486	FL	RF	AD	AD	FL	RF
487	FL	FL	FL	FL	FL	FL
488	FL	FL	FL	FL	FL	FL
489	AU	AU	AU	AU	AU	AU
490	FL	FL	FL	FL	CP	FL
491	FL	FL	FL	FL	FL	FL
492	FL	FL	FL	FL	FL	FL
493	FL	FL	FL	FL	FL	FL
494	FL	FL	FL	FL	FL	FL
495	RF	FL	FL	FL	FL	FL
496	FL	RF	RF	RF	FL	RF
497	RF	FL	FL	FL	FL	FL
498	FL	FL	FL	FL	FL	FL
499	FL	RF	RF	FL	FL	FL

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(continuação)

Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
500	CP	AG	RF	AD	RF	AD
501	CP	AD	CP	AD	CP	FL
502	FL	FL	FL	FL	FL	FL
503	CP	CP	CP	CP	CP	CP
504	SE	RF	AD	AD	AD	RF
505	FL	FL	FL	FL	FL	FL
506	AD	AD	AD	AD	AD	FL
507	FL	FL	FL	FL	FL	FL
508	FL	FL	FL	FL	FL	FL
509	CP	AD	AD	AD	CP	FL
510	RF	FL	FL	FL	FL	FL
511	AU	SE	AU	SE	CP	SE
512	FL	FL	FL	FL	FL	FL
513	RF	FL	FL	FL	FL	FL
514	AU	AU	AU	AU	AU	AU
515	CP	FL	FL	FL	FL	FL
516	FL	FL	FL	FL	FL	FL
517	FL	FL	FL	FL	FL	FL
518	FL	FL	FL	FL	FL	FL
519	FL	FL	FL	FL	FL	FL
520	CP	AD	CP	AD	CP	CP
521	CP	CP	CP	FL	CP	CP
522	AD	AD	AD	AD	AD	FL
523	FL	FL	FL	FL	FL	FL
524	AU	AU	AU	AU	AU	AU
525	FL	FL	FL	FL	FL	FL
526	CP	AU	SE	AD	AU	FL
527	SE	AU	AU	AU	AU	AU
528	FL	FL	RF	FL	FL	FL
529	FL	FL	FL	FL	FL	FL
530	CP	AD	AD	AD	CP	CP
531	CP	CP	CP	CP	CP	CP
532	AD	AD	FL	FL	FL	FL
533	CP	CP	CP	CP	CP	CP
534	FL	FL	FL	FL	FL	FL
535	FL	FL	CP	CP	CP	CP
536	FL	FL	FL	FL	FL	FL
537	FL	FL	FL	FL	FL	FL
538	RF	RF	RF	RF	RF	RF
539	AD	AD	AD	AD	CP	FL
540	FL	RF	FL	FL	FL	FL
541	AD	AD	AD	AD	AD	FL

Tabela 1 – Comparação das UPs dos mapas da classificação visual, *Mahalanobis Distance* (MD), *Maximum Likelihood* (ML), *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Support Vector Machines* (SVM) e ISODATA – 2018.

(conclusão)						
Número	Visual	MD	ML	SAM	SVM	ISODATA
542	AU	RF	SE	AU	CP	AU
543	FL	CP	FL	FL	CP	FL
544	FL	AU	CP	AD	CP	FL
545	RF	FL	FL	FL	FL	FL
546	RF	FL	FL	FL	FL	RF
547	FL	FL	FL	FL	FL	FL
548	CP	CP	CP	CP	CP	CP
549	FL	FL	FL	CP	FL	FL
550	AG	AG	AG	AG	AG	AD
551	RF	RF	RF	FL	RF	FL
552	FL	RF	RF	RF	RF	RF

Fonte: AUTOR, 2018; GOOGLE Earth, 2018.