



Análise da dinâmica temporal de uso e ocupação do solo da Área de Proteção Ambiental Bororé Colônia (2015 a 2020)

Carlos Henrique Albano¹
Edineia Aparecida dos Santos Galvanin²

RESUMO

Este artigo apresenta o processo de ocupação humana em uma área de proteção ambiental localizada no Município de São Paulo, a pressão que as atividades antrópicas, inerentes a produção da sociedade, exercem sobre o ambiente e o espaço bem como as diversas ocorrências na dinâmica da paisagem. O objetivo deste trabalho é investigar a dinâmica de uso e ocupação da Área de Proteção Ambiental Bororé Colônia ao longo de 05 anos. Foram utilizadas as imagens do Satélite Sentinel-2 com 10 metros de resolução espacial, a classificação supervisionada no *software ArcGIS 10.7.1*, para validação dos dados foi realizada a matriz de confusão e o índice Kappa, utilizando a verdade terrestre através da imagem de satélite CBERS-4A, com 2 metros de resolução espacial. Os resultados revelam o aumento das áreas de espaços antropizados, sobretudo sobre a mata secundária e a pressão humana sobre as áreas de preservação ambiental. Este estudo produz subsídios para a gestão, planejamento espaço-territorial e políticas públicas para as áreas de proteção ambiental.

Palavras-chave: Área de Proteção Ambiental, Geotecnologias, Uso do solo.

ABSTRACT

This article presents the process of human occupation in an environmental protection area located in the Municipality of São Paulo, the pressure that anthropic activities, inherent in the production of society, exert on the environment and space, as well as the various occurrences in the dynamics of the landscape. The objective of this work is to investigate the dynamics of use and occupation of the Bororé Colônia Environmental Protection Area over 05 years. Images from the Sentinel-2 Satellite with 10 meters of spatial resolution were used, the classification supervised in the ArcGIS 10.7.1 software, for validation of the data, the confusion matrix and the Kappa index were performed, using the terrestrial truth through the satellite image. CBERS-4A, with 2 meters of spatial resolution. The results reveal an increase in the areas of anthropic spaces, especially on secondary forest and human pressure on areas of environmental preservation. This study produces subsidies for the management, spatial-territorial planning and public policies for environmental protection areas.

Keywords: Área de Proteção Ambiental, Geotechnology, Land use.

¹ Pós-Graduando do Curso de Mestrado Profissional em Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Câmpus Presidente Prudente – SP carlos.albano@unesp.br;

² Professora Doutora do Curso de Geografia da Unesp/Ourinhos, edineia.galvanin@unesp.br.



INTRODUÇÃO

O município de São Paulo é caracterizado pela relação conflituosa entre sociedade e natureza, seja pelo aumento populacional, desenvolvimento de atividades econômicas rurais e urbanas e disputa sobre a forma de ocupação do solo. Há intrincado fluxo de matéria e energia, de ações naturais e humanas, de forma a interagir no meio urbano e dinamizar as relações de manifestação entre os elementos da natureza e da sociedade como aponta Mendonça (2004).

A Área de Proteção Ambiental (APA) Bororé Colônia, uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (Lei Federal 9.985/2000), está localizada na zona sul do município de São Paulo, entre as áreas das subprefeituras de Capela do Socorro e Parelheiros, além de ser margeada pela represa Billings, importante manancial de abastecimento da capital paulista.

Por tratar-se de uma área de proteção ambiental pressionada por áreas urbanas, existe uma concentração de pessoas e serviços de infraestrutura nos bairros e uma variedade de uso do solo, mostrando uma imprópria ocupação desordenada sem planejamento e sem considerar as questões ambientais.

A primeira hipótese era de que as áreas de floresta ombrófila densa e de proteção dos mananciais, poderiam ter sido parciais ou integralmente apropriadas por área urbanizadas e edificações, sobretudo pelo acelerado processo de remodelagem urbana causada após a construção do Rodoanel Mario Covas.

O objetivo deste trabalho é investigar a dinâmica de ocupação da Área de Proteção Ambiental Bororé Colônia (APA) ao longo de 05 anos, bem como produzir subsídios para a gestão, planejamento espaço-territorial e políticas públicas na área.

METODOLOGIA

Os dados foram obtidos por meio de imagens de satélite, com baixa quantidade de nuvens e que recobrem a APA Bororé Colônia. As imagens utilizadas são provenientes do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 metros. Obtidas no catálogo de imagens da ESA *European Space Agency*.

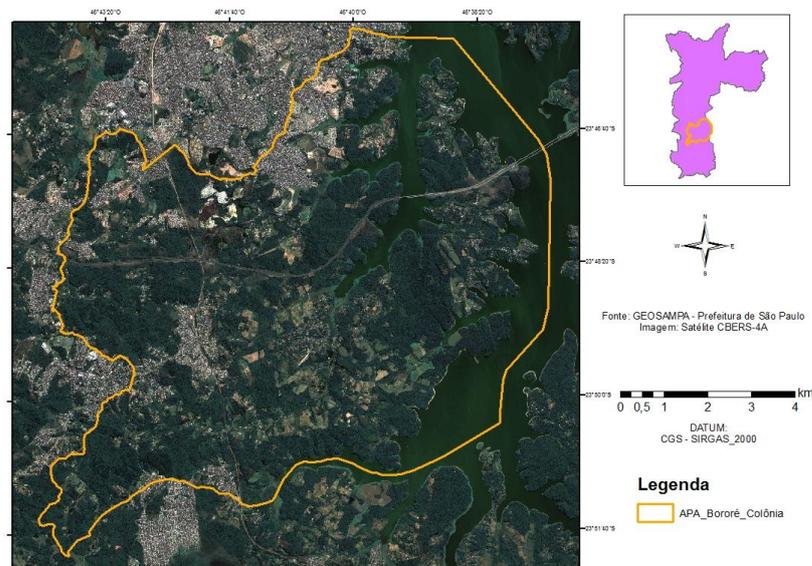
Foram priorizadas imagens orbitais do satélite Sentinel-2, que não estivessem com a presença de nuvens, pois essas podem tanto alterar a quantidade de luz refletida quanto

confundir o arranjo dos pixels da cena, o que precisaria de correção. Para a análise temporal foram selecionadas as imagens de 11/08/2015, 11/06/2017, 14/10/2019 e 20/07/2020.

Para o processamento das imagens, construção de mosaico, processamento RGB, classificação e aplicação de métricas foi utilizado o *software ArcGIS* versão 10.7.1 (ESRI); a manipulação dos dados, descrições de informações e os resultados estatísticos foram executadas no *Microsoft Excel*.

Quanto à aquisição das cenas para análise espaço temporal, foi selecionado o intervalo dos anos de 2015 a 2020, realizado o mosaico, recorte da área de estudo (figura 1) e classificação supervisionada.

Figura 1. Área da APA Bororé Colônia.



Fonte: autores.

A classificação supervisionada utilizou-se da Máxima Verossimilhança, esse método verifica a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos *pixels* das classes, utilizando padrões estatísticos, de acordo com Vale et al. (2018).

No processo de elaboração da carta de uso e ocupação do solo foi realizado a classificação por amostra de treinamento, onde foram identificadas 5 classes mais preponderantes no espaço geográfico da APA Bororé Colônia: água (azul cobalto), entendido como corpos d'água, a represa Billings e reservatórios locais para irrigação, dessedentação de animais e abastecimento; remanescente de vegetação (verde mata), compreendido como a floresta ombrófila densa, de predominância na área; mata



secundária (verde neon), regeneração da floresta ombrófila densa, após perturbação por corte raso ou fogo. Área urbanizada e edificações (lilás), área de consolidados urbanos estradas, ruas, rodovias e edificações de diversos tipos de materiais; espaços antropizados (marrom cacau), alteração da paisagem natural por agricultura, mineração e aterros sanitários/lixões.

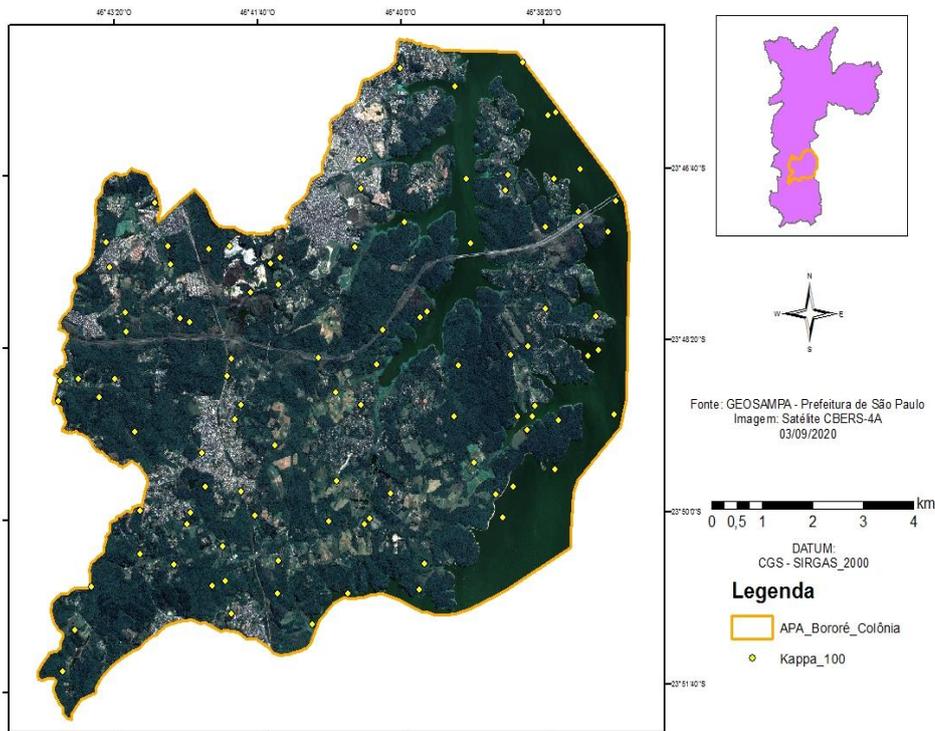
A classificação supervisionada, foi realizada através de arranjos com treinamento, após a definição das bandas espectrais das imagens, sendo *red* (banda 5), *green* (banda 3) e *blue* (banda 1), foi possível a identificação de amostras de classes escolhidas, como: água; remanescentes vegetação; mata secundária; área urbanizada e edificações; espaços antropizados. A proposta metodológica após a classificação de uso e cobertura da terra, foi realizar as variações temporais com o sistema de informações geográficas; “...um dos principais desafios para os próximos anos é transformar estes sistemas, essencialmente estáticos, em ferramentas capazes de prover representações realistas de processos espaço-temporais” (CÂMARA, 1998, p. 106).

Para leitura da classificação no período quinquenal, além da análise de interpretação visual dos mapas da dinâmica de ocupação, houve a verificação de possíveis alterações da paisagem pela elaboração de uma tabela e um gráfico de barras, possibilitando a visualização do comportamento dos *pixels* classificados nos anos de 2015 e 2020.

Para verificar a confiabilidade da metodologia de classificação, foi utilizado a matriz de confusão e o índice Kappa, no próprio *software ArcGIS* versão 10.7.1 (ESRI), através da ferramenta *Spatial Analyst*. De acordo com Martinez (2015) o índice Kappa estabelece concordância entre dois elementos ou dois instrumentos de classificação, dependente de uma variável qualitativa.

Na construção da matriz de confusão, foi criado 100 pontos aleatoriamente, conforme imagem 2, com o auxílio da ferramenta “*create accuracy assessment point*”, sobre uma imagem orbital de alta resolução espacial com data de 03 de setembro de 2020. A imagem utilizada foi a do Satélite CBERS 4A, que após fusão das bandas 1 (*red*), 2 (*blue*), 3 (*green*), 4 (infravermelho próximo) com a banda 0 (pancromática), resultou em uma imagem com dois metros de resolução espacial.

Figura 2. Matriz de Confusão Índice Kappa



Fonte: autores.

Com esses 100 pontos aleatórios espalhados pela área de estudo, coube a classificação da área pelo pesquisador, para depois estabelecer uma comparação com a última imagem de uso e cobertura da terra gerada, com data de 20 de julho de 2020, a fim de verificar a acurácia da aprovação com a “verdade de campo”. “A verdade de campo também pode ser obtida por meio de interpretações de imagens de alta resolução, dados de Processamento Digital de Imagem (PDI) ou imagens previamente classificadas” (ESRI, 2016 apud SOLARI, 2017).

Congalton e Green, (1999) apud Solari (2017), apontam que tal coeficiente calcula a concordância, medindo individualmente as classes nominais, mas o classificador e os pontos de referência operam de forma independente, assim formando níveis de relevância entre eles, medindo a acurácia nos vetores de 0 a 1 (tabela 1).



Tabela 1. Índice de Relevância Kappa

| Estadística <i>Kappa</i> | Relevância do <i>Kappa</i> |
|--------------------------|----------------------------|
| <0.00 | Nulo |
| 0.00 – 0.2 | Ruim |
| 0.21 – 0.4 | Fraco |
| 0.41 – 0.6 | Moderado |
| 0.61 – 0.8 | Substancial |
| 0.81 – 1.00 | Quase perfeito |

Fonte: Landis; Koch (1977) *apud* SOLARI (2017), p. 83

A forma de análise dessa pesquisa, é a produção de cartas comparativas que tragam uma visão da ocupação espaço temporal dos últimos cinco anos na área de aplicação. A preparação deste material é para investigar se as ferramentas tecnológicas, aliadas as representações cartográficas podem ser utilizadas para a leitura da dinâmica da paisagem e para planejamento do território, além da produção de uma comunicação gráfica e representativa.

REFERENCIAL TEÓRICO

Pela Lei Municipal nº14.162/2006 a APA Bororé-Colônia tem como principais objetivos: “proteger os recursos hídricos e os remanescentes de mata atlântica”, “manter o caráter rural da região” e “evitar o avanço da ocupação humana na área protegida”. Destaca-se também na mesma legislação o artigo 6º: “fica vedado, no interior da APA Bororé-Colônia, o exercício de atividades indutoras ou potencialmente indutoras da ocupação urbana...”. Além do artigo 7º que descreve atividades econômicas e sociais que para serem exercidas, nos limites da APA, dependem de licenciamento. Demonstrando que a região foi escolhida como um polo de preservação do meio ambiente dentro do Município de São Paulo.

Segundo Bernadelli Junior (2013), que realizou um trabalho sobre os conflitos sociais e urbanos a APA consta de cerca de 9.000 ha., nesses incluídos fragmentos de mata atlântica, agricultura convencional e alternativa, mineração, silvicultura, e assentamentos humanos regulares e irregulares, assim com alguns núcleos de importância cultural e histórica.



De acordo com o autor citado, a área de estudo vivia diversos conflitos por disputa de território, e esses conflitos foram acentuados pela construção do Rodoanel Mario Covas. Sobretudo conflitos socioambientais identificados como “questão de moradia – comercialização de áreas irregulares, construções irregulares, invasões, ocupações de área de risco” (BERNADELLI JUNIOR, 2013, página 81).

Mendonça (2004) aponta que nas metrópoles ocorre uma lógica espacial divisora e comum a uma intensa movimentação interurbana, destacando que a população em vulnerabilidade ocupe cada vez mais, áreas de riscos socioambientais, fruto de uma urbanização precarizada por ser célere, tardia e intensa.

Tais evidências deste fenômeno na área de estudo foram analisadas com subsídio de imagens de satélite, tendo como principal ferramenta o sensoriamento remoto com SIG (Sistemas de Informações Geográficas). Câmara (1998) descreve que os SIG são essenciais, para realização de análises espaciais, suas funções fazem uso de atributos gráficos dos dados espaciais.

Há busca por fazer modelos sobre os fenômenos espaciais, utilizando técnicas matemáticas e computacionais, para o refinamento da informação geográfica, tornando possível a produção de cartografia com dados de representação próxima ao mundo real, conforme dispõe, Câmara et al. (1998).

Por meio do sensoriamento remoto foram construídos mapas de uso do solo, consoante a Archela e Théry (2008), os mapas indicam orientação e podem servir para o planejamento e leitura do território, quando consumidos pela sociedade as representações gráficas são fontes de informação. A escolha foi pela formatação de mapas analíticos, demonstrando a manifestação do elemento ocupação do solo, quanto ao método de mapeamento foram elaborados mapas coropléticos com dados ordenados de implantação zonal; “os mapas no modo de implantação zonal, são os mais adequados para representar distribuições espaciais de dados que se refiram as áreas” (ARCHELA e THÉRY, 2008, p. 8).

As cenas orbitais escolhidas para o trabalho foram do Satélite Sentinel-2, um satélite de frequência de revisão alta: 5 dias; oferecendo imagens multiespectrais que variam de 60 a 10 metros de resolução espacial, excelente para “mapas de cobertura terrestre, mapas de detecção de mudança de solo e variáveis geofísicas” (ESA, 2016, p. 15). Ideal para monitoramento ambiental o Sentinel-2 é uma iniciativa da Comissão Europeia (CE), com a participação da Agência Espacial Europeia (ESA).

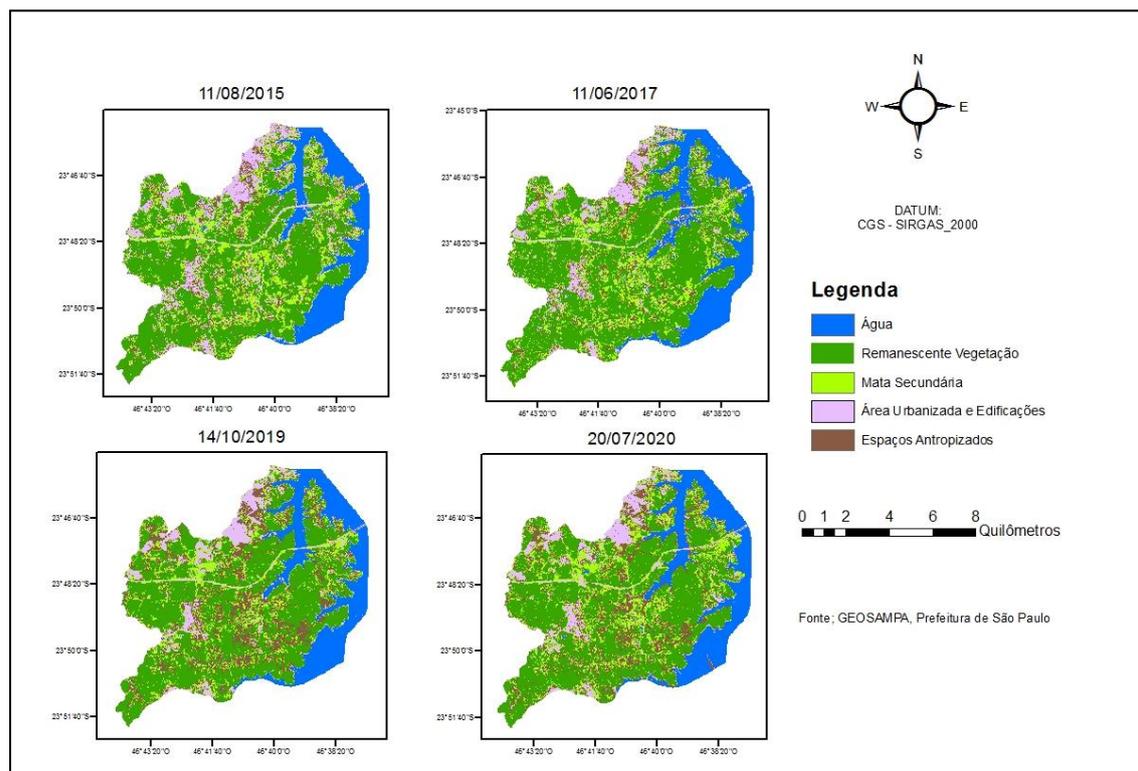


Para identificação do uso do solo foi usado a classificação supervisionada, feitas a partir do *software* de geoprocessamento através de amostras de treinamento. Trata-se de um método paramétrico; “utiliza de parâmetros estatísticos como matriz de covariância e média para efetuar a classificação” (SOLARI, 2017, p. 71). Conforme este mesmo autor, para tomada de decisão na classificação são considerados três elementos distância, probabilidade e ângulo espectral. Este trabalho fez uso do método da Máxima Verossimilhança (*MaxVer*), na qual os algoritmos classificadores se baseiam “na probabilidade, e utiliza tanto a média como a variância” (SOLARI, 2017, p.72).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 ilustra o mapa de uso e cobertura da terra do período em análise.

Figura 3. Mapas de Uso e cobertura da terra de 2015 a 2020.



Fonte: autores.

Foi possível identificar por contraste visual das cartas produzidas (figura 3), pouca alteração na ocupação da terra nos anos de 2015 a 2017, contudo de 2017 a 2019 e



mantendo-se como tendência de alteração da paisagem em 2020, houve um aumento das áreas identificadas como “espaços antropizados”, sobretudo em áreas que eram classificadas como “mata secundária”.

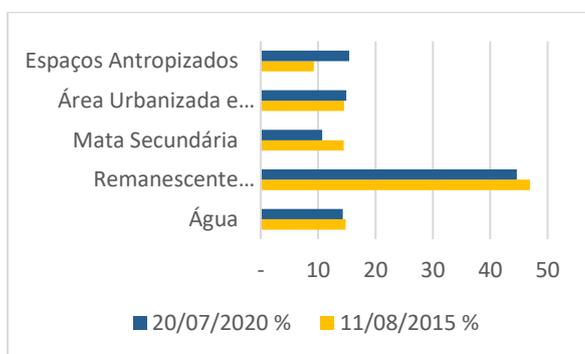
Tabela 2. Quantidade/Porcentagem de Pixels 2015 e 2020.

| Classificação do Solo | 11/08/2015 | | 20/07/2020 | |
|-------------------------------|----------------------|-----|----------------------|-----|
| | Quantidade de pixels | % | Quantidade de pixels | % |
| Água | 132.785 | 15 | 128.331 | 14 |
| Remanescente Vegetação | 420.539 | 47 | 400.113 | 45 |
| Mata Secundária | 129.729 | 14 | 96.155 | 11 |
| Área Urbanizada e Edificações | 130.331 | 15 | 133.509 | 15 |
| Espaços Antropizados | 82.685 | 9 | 137.961 | 15 |
| Total | 896.069 | 100 | 896.069 | 100 |

Fonte: autores.

A tabela 2 e a figura 4 denotam o comportamento dos *pixels* na classificação supervisionada, entre 11 de agosto de 2015 e 20 de julho de 2020.

Figura 4. Quantidade/Porcentagem de Pixels 2015 e 2020.



Fonte: autores.

A classificação “mata secundária” diminuiu de 14% para 11% no total da APA Bororé Colônia; diminuição também verificada na classificação “remanescente vegetação”, que teve um decréscimo de 2% em sua área. Enquanto “espaços antropizados” deixou de ter 9% para 15% do total da área, tendo aumento de 6% dos *pixels*.

Este panorama, aponta principalmente para a expansão das ocupações humanas sobre a floresta nativa ainda em estado de regeneração. Bernadelli Junior (2013) apontam que a APA Bororé-Colônia é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável criada a



partir de 2006, tendo este caráter para preservação dos remanescentes florestais e recursos hídricos, não sendo proibida a ocupação humana, mas somente a expansão urbana, mantendo-se a urbanização consolidada intra área de preservação.

Destaca-se ainda que dentro da APA existem quatro Parques Naturais: Jaceguava, Varginha, Bororé e Itaim. Este último sendo um instrumento de compensação ambiental da construção do Rodoanel. A presença destes Parques Municipais, compostos de cercas de proteção e vigilância, podem garantir a manutenção da preservação das áreas com concentração de floresta ombrófila densa.

Sobre a confiabilidade do mapa produzido a tabela 3 ilustra o índice kappa.

Tabela 3 – Mapas de Uso do Solo de 2015 a 2020.

| Solo | Classificação | Verdade Terrestre |
|-----------------------------|---------------|---------------------|
| Água | 16 | 17 |
| Remanescente Vegetação | 44 | 38 |
| Mata Secundária | 16 | 25 |
| Área urbanizada/edificações | 9 | 8 |
| Espaço Antropizado | 15 | 12 |
| | 100 | 100 |
| | | <i>índice Kappa</i> |
| | Coluna 1 | 100 |
| | Coluna 2 | 0,80 |

Fonte: produzido pelos autores, 2021

A análise dos pontos que exibiram discordância entre o que foi classificado e a verdade terrestre, teve Índice Kappa de 0,80%, o que de acordo com a tabela 1, produzida por Landis e Koch (1977) *apud* Solari (2017), é enquadrado como índice de relevância Kappa “substancial”.

Nota-se que os equívocos de classe se deram principalmente nas classificações de remanescente de vegetação com 6 erros e mata secundária com 9 erros. Isso se deve a duas circunstâncias, a primeira é que as áreas apontadas sofrem do efeito borda, por estarem próximas existe uma mistura de *pixels*, o que pode levar uma generalização da classificação. A segunda é que as áreas de silvicultura, sobretudo plantação de eucalipto foi considerado “espaço antropizado”, o que resultou em alguns erros entre esta classificação e a classe “remanescentes de vegetação”, pelo comportamento espectral de massas vegetais.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado de aumento das áreas de espaços antropizados, sobretudo sobre a mata secundária, demonstra que deve se haver uma maior preocupação na manutenção dos locais de regeneração, visando a reconstrução da mata atlântica e a sustentação das áreas de borda a floresta ombrófila densa ainda preservada.

Foi possível, através da metodologia utilizada, demonstrar o fenômeno da pressão humana sobre as áreas de preservação ambiental. Salienta-se que o estudo não avançou no comportamento espectral dos alvos, tema importante quando se trata de pesquisa utilizando o sensoriamento remoto.

Há desafios desse tipo de trabalho em ambientes urbanos, pela diversidade de elementos a serem selecionados para classificação supervisionada, principalmente no que se refere a corpos hídricos e objetos presentes na área urbanizada e edificações. Para próximos estudos é adequado desconsiderar classificar os corpos hídricos (água), devido a mudança sazonal de partículas e presença de eutrofização nas represas próximas a região metropolitana, o que pode provocar equívoco na classificação.

Ressalta-se que ao analisar a paisagem é também necessário considerar o contexto social e ambiental, buscando compreender todas as relações de interação entre sociedade e natureza, coube a esta pesquisa ponderar os aspectos ambientais da APA Bororé Colônia, não foram discutidos arranjos de infraestrutura urbana e demais dados que podem influenciar na queda da qualidade ambiental.

Contudo os mapas e dados produzidos podem auxiliar na orientação e servir para o planejamento e descoberta do território, a sociedade e o poder público podem fazer uso dessas representações cartográficas, como um meio de investigação e implementação de políticas públicas; principalmente para manutenção de uma área verde em uma densa região metropolitana como a de São Paulo.

REFERÊNCIAS

ARCHELA. R.S.; THÉRY. H. Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos. **Confins**, Online, 32008, 23 jun 2008. Disponível em <http://confins.revues.org/index3483.html>. Acesso em: 31 mai. 2021.



BENARDELLI JÚNIOR, J. M. **Conflitos socioambientais na APA Bororé-Colônia: o caso do Parque Natural Municipal Itaim**. 2013. Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Nove de Julho/UNINOVE, São Paulo, 2013.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 de jul. 2000.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia dos Sistemas de Informação Geográfica**. DPI/INPE: 1998.

ESA. **Sentinel-2 - Missions - Instrument Payload - Sentinel Handbook**. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload>. Acesso em: 13 mai. 2021.

GEOSAMPA. **Áreas verdes e área de preservação no município de São Paulo**. São Paulo: Prefeitura Municipal, 2017. Arquivo shapefile, metadados, escala 1:10000. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/SBC.aspx>. Acesso em: 01 jun. 2021.

LOCH, Ruth E. Nogueira. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Ed. Florianópolis: UFSC, 2006.

MARTINEZ, E.Z. **Bioestatística para os cursos de graduação da área da saúde**. São Paulo: Blücher, 2015.

MENDONÇA, Francisco. S.A.U. O Sistema Socioambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: MENDONÇA, Francisco (org.). **Impactos socioambientais urbanos**: Curitiba: Ed. UFPR, 2004. p. 185-208.

SÃO PAULO (Cidade). Lei nº 14.162, 24 de maio de 2006. Cria a Unidade de Conservação Área de Proteção Ambiental Municipal Bororé-Colônia. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, São Paulo, 25 mai. 2006.

SOLARI, Raphael Alberto Fuhr. **Aplicação de métodos de classificação supervisionada em imagens do sentinel-2, como suporte ao cadastro ambiental rural**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.