

USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ELABORAÇÃO DE CARTA DE USO DE SOLO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO COMO FOMENTO AO PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL

Gabriela de Oliveira Monteiro (IC) e Magda Aparecida Salgueiro Duro (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie/CNPq

Resumo: A identificação de áreas urbanas consolidadas, áreas em expansão urbana e áreas aptas a urbanização é essencial para o planejamento urbano e regional. Esta identificação pode ser feita através da análise de imagens de sensoriamento remoto e técnicas disponíveis em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O sensoriamento remoto (SR) permite a captação de informações de fenômenos e feições terrestres, por meio de sensores, sem contato direto com a superfície. As bandas de sensoriamento remoto podem ser combinadas e classificadas em um SIG, para gerar uma imagem que destaca características específicas da superfície analisada. Devido a ampla dimensão do território em estudo, as técnicas de geoprocessamento foram essenciais para a classificação completa do território sem a necessidade de análise em campo. Neste estudo, foi elaborado um mapa temático no qual as áreas classificadas foram subdivididas em Área Urbanizada, Solo Exposto, Vegetação e Água, destacando a Área Urbanizada categorizada como consolidada e Solo Exposto para áreas em ascensão à expansão urbana. A partir das análises dos dados obtidos foi possível verificar a distribuição populacional da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Assim, o estudo da RMSP através de imagens de sensoriamento remoto permitiu uma classificação do território, totalizando o estudo dos 39 municípios, resultando em uma Carta de Uso de Solo atualizada (imagens de satélites obtidas em 2015), para fins de base para estudos posteriores.

Palavras-chaves: Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Sensoriamento Remoto, Planejamento Urbano.

Abstract: The identification of consolidated urban areas, expanding urban areas and areas suitable urbanization is essential to urban and regional planning. This identification can be done through remote sensing image analysis and techniques available in Geographic Information System (GIS). Remote sensing (RS) can capture information about phenomena and land features, by means of sensors without direct contact with the surface. Remote sensing bands can be combined and classified in a GIS to generate an image that highlights specific characteristics of the analyzed surface. Due to the large dimension of the studied territory, the geoprocessing techniques were essential to the complete classification of the territory with no need of field analysis. In this study, we designed a thematic map in which the

classified areas were subdivided into Urbanized Area, Bare Soil, vegetation and water, highlighting the areas categorized as consolidated Urban Area and Exposed Soil for areas that are ascending to urban expansion. From the analysis of the data it was possible to verify the population distribution of the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP). Thus, the study of the RMSP through remote sensing images allowed a classification of territory totaling the study of 39 counties, resulting in an updated Land Use map (satellite images obtained in 2015), to be used as a base for further studies.

Keywords: Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), Remote Sensing, Urban planning.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos desafios para suprir as demandas habitacionais e sociais do estado de São Paulo se concentram nas quatro regiões metropolitanas paulistas: São Paulo, Baixada Santista, Campinas e Vale do Paraíba – Litoral Norte, onde o déficit de moradias é de 68% e a inadequação é de 67% dos domicílios, afetando especialmente a população de menor renda (COSTA; TSUKUMO, 2013). A precariedade habitacional nas áreas metropolitanas apresenta a situação mais crítica: favelas adensadas, loteamentos irregulares e precários nas periferias, cortiços insalubres nas áreas centrais, ocupações em áreas ambientalmente frágeis e protegidas, ou em áreas de risco ambiental, sujeitas a enchentes e deslizamentos. Para o enfrentamento dos desafios advindos da necessidade habitações e do planejamento urbano regional, são necessárias estratégias e ações integradas do poder público que reflitam as necessidades habitacionais e de desenvolvimento urbano e que envolvam todas as especificidades territoriais e a complexidade e funcional que se apresenta no contexto metropolitano. A eficiência da política de desenvolvimento urbano em âmbito metropolitano está associada à qualidade da gestão pública das cidades, em grande parte conurbadas e constituindo aglomerações urbanas.

O grande desafio consiste em articular o desenvolvimento territorial com urbanização inclusiva, e o desenvolvimento sustentável com equidade social, visando à igualdade de acesso às oportunidades do desenvolvimento e do processo de urbanização voltados, especialmente para: urbanização e expansão urbana, com foco na coesão da ocupação territorial e na sustentabilidade ambiental; expansão urbana e planejamento do uso do solo, com ênfase em ocupação irregular, déficit e inadequação habitacional, disponibilidade de áreas para intervenção habitacional, dinâmica do mercado imobiliário e situação fundiária; dinâmica demográfica com trajetórias de mudanças nos territórios e suas repercussões nas demandas de habitação, infraestrutura e serviços.

O mapa de uso do solo da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) identifica e classifica suas áreas de acordo com a atual utilização, mostrando as aptidões de cada classe para o planejamento urbano regional. Para a identificação e análise das áreas citadas podem ser utilizadas imagens de Sensoriamento Remoto (SR) e ferramentas disponíveis nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Com a caracterização e o tratamento das imagens de satélites, através de diferentes bandas, obtém-se um reconhecimento do território, podendo se distinguir em uma imagem classificada áreas com solo exposto, vegetação, urbanização e água, resultando na possibilidade de identificar através dos dados obtidos, a distribuição populacional, a organização territorial da RMSP e a aptidão para a expansão e o adensamento urbano. Este estudo é de grande importância para o diagnóstico, planejamento urbano, levantamento de estratégias para conservação e expansão das áreas.

1.1. Objetivo geral

O principal objetivo deste projeto é a realização de estudos para a elaboração de um produto cartográfico, a Carta de Uso de Solo das áreas de expansão urbana que englobe os 39 municípios da RMSP, através de recursos de SIG, com o emprego de metodologias e recursos de geoprocessamento e georreferenciamento, associado a metodologias e técnicas de armazenamento, tratamento e análise destas informações, que conduzam a obtenção de produtos cartográficos precisos e representativos para que possam ser utilizados como mapa base para estudos futuros, e para o planejamento urbano regional.

Esta pesquisa também tem como objetivo a análise espacial da RMSP, para identificar as áreas em processo de expansão urbana e localizar áreas de possíveis conflitos. Desta forma, esta pesquisa inclui em seu processo de desenvolvimento a obtenção de mapas intermediários como a Carta de Uso do Solo de cada município separadamente, e o mapa final composto pela união dos mapas intermediários de todos os municípios, para obter a mancha urbana completa da RMSP.

1.2. Objetivos específicos

Para o estudo da RMSP, por se tratar de um amplo território e ter muitas informações a serem analisadas, há a necessidade de gerar subsídios para o mapeamento dessas regiões. Sendo assim, os objetivos específicos deste projeto são:

- delimitação da área analisada (RMSP) e de seus municípios;
- identificação das áreas em processos de urbanização em cada município;
- elaboração da carta de uso e ocupação do solo de cada município, a partir dos dados obtidos;
- elaboração da carta de uso e ocupação do solo da RMSP.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção, apresenta uma breve revisão da literatura que discute os temas de expansão urbana e o planejamento urbano e regional, e faz uma rápida apresentação do geoprocessamento.

2.1. RMSP e Planejamento Urbano

A RMSP abrange uma área 7.946 Km², correspondendo a pouco mais de 3% do território paulista. A área urbanizada compreende cerca de 2.200 Km². Entre 1962 e 2002, a mancha urbana passou de 874 km² para 2.209 km². A metrópole sofre com o processo de

conurbação, o qual fez com que as cidades perdessem seus limites físicos, devido ao crescimento da área urbana de São Paulo em direção às cidades vizinhas, dando origem a uma mancha urbana contínua e em constantes processos de crescimento. A área de crescimento urbano da região metropolitana é superior a 5.000 Km², onde existem os mais diferentes processos de desenvolvimento urbano-regional (EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO URBANO S.A., 2015).

A seguir descreve-se um estudo feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) que destaca em cada fase, as importantes mudanças no aspecto do planejamento urbano da RMSP no decorrer dos anos.

A década de 1990 foi a fase de transição destacada pelo início do processo de descentralização política e institucional no país. Sob a influência dos preceitos da Constituição Federal de 1988 (CF/88), o foco das ações estava na criação de novas regiões metropolitanas, no debate sobre a gestão metropolitana, incluindo a experiência internacional, mantendo-se os trabalhos de articulação com os municípios e os órgãos estaduais.

Na década de 2000 a 2010 foram estabelecidas as estruturas institucionais de planejamento das novas Regiões Metropolitanas paulistas – Baixada Santista e Campinas. Foram elaborados estudos para os municípios atenderem aos dispositivos legais estabelecidos pelo Estatuto da Cidade, além de estudos setoriais – transportes, saneamento e habitação –, e de instrumentos de divulgação de informações regionais.

A partir de 2011, a criação do Sistema Estadual de Desenvolvimento Metropolitano renova e estabelece uma nova missão para as regiões metropolitanas do estado. É criada a Secretaria de Desenvolvimento Metropolitano e a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) se constitui no seu principal instrumento técnico para formulação, execução e acompanhamento de políticas, planos e projetos metropolitanos, sendo a Macrometrópole Paulista adotada como o seu território de atuação. É iniciada uma expressiva articulação político-institucional entre a entidade metropolitana e os municípios da Macrometrópole Paulista, notadamente com atividades destinadas à construção da nova governança metropolitana e a elaboração de planos e projetos para este território. Em 2013, o Decreto Estadual no 59.327, de 28 de junho de 2013, extingue a Secretaria de Desenvolvimento Metropolitano transferindo as suas atribuições para a Casa Civil. (COSTA; TSUKUMO, 2013, p. 206)

A reorganização institucional da RMSP, foi determinante para o processo de reorganização do território do Estado de São Paulo, marcando a retomada do planejamento regional e metropolitano na Macrometrópole Paulista.

Com a finalidade de fortalecer e aperfeiçoar a gestão da Região Metropolitana de São Paulo, está em curso também seu processo de reorganização, a partir da aprovação da Lei Complementar no 1.139/2011 (São Paulo, 2011), que reorganiza os 39 municípios que a compõem, agrupados em cinco sub-regiões:

- Norte: Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã;
- Leste: Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa

- Isabel e Suzano;
- Sudeste: Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul;
 - Sudoeste: Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Jujutiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista;
 - Oeste: Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba. (COSTA; TSUKUMO,2013, p. 217)

2.2. Conceitos básicos de Geoprocessamento

O Geoprocessamento consiste na utilização de técnicas computacionais e matemáticas para obter e analisar informações espaciais. Através dessas técnicas, os dados de diversos formatos e fontes são relacionados com o objetivo de gerar algum ganho de informação sobre determinado assunto.

Graças ao desenvolvimento da informática e dos equipamentos eletrônicos, surgiram as geotecnologias, que servem, entre outras coisas, para coletar informações através de Global Positioning System (GPS), Radar, Satélite, Fotogrametria, Cartografia, Topografia, Sensoriamento Remoto e outras fontes, armazenando as informações obtidas em Bancos de Dados Geográficos.

Atualmente, o Geoprocessamento é uma importante ferramenta para o planejamento urbano e regional.

3. GEOPROCESSAMENTO

Essa seção apresenta as aplicações básicas do geoprocessamento, conduzindo o leitor à compreensão do tema de forma detalhada e progressiva.

3.1. Sistemas de Informações Geográficas

Segundo FELGUEIRAS & CÂMARA (2001), o SIG é um sistema de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais, que faz uso integrado das geotecnologias possibilitando a elaboração de análises complexas que combinem diversos mapas com bancos de dados georreferenciados (bancos de dados que possuem localização geográfica).

Por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os dados retirados das imagens de satélite, a um baixo custo e em curto espaço de tempo, podem ser integrados a informações obtidas por censos demográficos, pesquisas institucionais e dados de cadastros das prefeituras.

O QGIS, utilizado neste estudo, é um software de SIG gratuito e de código aberto (GNU - *General Public License*), no qual pode-se visualizar, gerenciar, editar, analisar os dados, compor mapas impressos, entre outros.

3.1.1. Conceitos básicos

Um SIG pode trabalhar com dados georreferenciados obtidos, por exemplo, através dos censos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e também com informações sobre a superfície terrestre obtidas através de imagens orbitais (aerofotogrametria e satélites, por exemplo).

Aerofotogrametria são fotos aéreas obtidas através do sobrevoo da área de interesse por aeronaves (pequenos aviões, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), Drones, etc.). Possuem boa orientação espacial, facilidade de interpretação e elevado nível de precisão.

O Landsat, por exemplo, é um satélite para pesquisa em áreas como agricultura, cartografia, geologia, silvicultura, planejamento regional, vigilância e educação.

3.1.2. Camadas Vetoriais e Matriciais

As diversas ferramentas disponíveis em um SIG permitem ao usuário trabalhar ao mesmo tempo com várias imagens (camadas ou *layers*) sobrepostas. Essas camadas podem ser vetoriais (*shapefile*) ou matriciais (*raster*) e podem carregar atributos que fornecem informações qualitativas ou quantitativas e que podem ser acessados a qualquer momento pelas ferramentas do ambiente.

Cada camada armazena um tema/aspecto do fenômeno a ser mapeado. Por exemplo, pode-se ter camadas separadas para Imagens de Satélite, Usos do Solo, Sistema Viário, Hidrografia, Cadastro Urbano, Topografia (curvas de nível), entre outras. Essas camadas são georreferenciadas e ficam sobrepostas umas às outras no sistema. Assim, os diferentes *layers* representam diferentes informações temáticas que, agrupadas e analisadas, podem gerar Mapas em um SIG (SILVA; MONTEIRO; PAMBOUKIAN, 2013a).

3.1.3. Feições

As feições constituem em características de fragmentos das camadas, contendo ou não informações que podem ser analisadas separadamente. As camadas vetoriais são constituídas de feições como pontos, linhas e polígonos que podem representar rios, estradas, municípios, etc.

3.1.4. Tabela de Atributos

Os atributos fornecem informações descritivas sobre dados espaciais e são ligados às feições através de identificadores comuns. Eles podem ser adicionados às feições quando as mesmas são criadas ou podem, posteriormente, ser importados de outros softwares como o Access e o Excel e depois unidos às feições. Feições que representam municípios, por exemplo, podem ter atributos como população, domicílios, renda, índice de alfabetização, etc. Estas informações são armazenadas em uma Tabela de Atributos.

Como cada feição em uma camada vetorial possui uma linha relacionada na Tabela de Atributos, torna-se possível realizar consultas de atributos específicos com facilidade através da interface gráfica do SIG. As consultas podem ser feitas através de expressões lógicas que utilizam, além dos valores dos atributos, operadores Aritméticos, Relacionais e Lógicos, além de funções matemáticas que permitem calcular, por exemplo, a área, o perímetro e a densidade demográfica de uma região. (SILVA; MONTEIRO; PAMBOUKIAN, 2013a).

3.1.5. Mapas temáticos

A organização de informações na tela do computador é o principal fator que influencia na qualidade das avaliações espaciais, visto que, quanto mais simples os dados forem representados para o usuário, mais rapidamente ele poderá chegar a conclusões e tomar decisões. É muito mais fácil para o projetista, por exemplo, saber qual é a cidade com maior número de habitantes através de um mapa que represente o estado inteiro de uma cor e a cidade com essa característica de outra, do que através de uma lista com todas as cidades, na qual ele precise procurar dentre elas a que tem o número de habitantes maior.

Os mapas temáticos são a resposta para se obter uma boa organização de informações, pois permitem uma análise visual das informações existentes na Tabela de Atributos de uma camada. Em um mapa temático, camadas adicionais também podem ser visualizadas para melhorar o entendimento.

3.2. Sensoriamento remoto

Segundo Figueiredo (2014), sensoriamento remoto é o “processo de captação de informações dos fenômenos e feições terrestres, por meio de sensores, sem contato direto com os mesmos, associado a metodologias e técnicas de armazenamento, tratamento e análise destas informações”.

3.2.1. Sensores, comprimentos de onda e bandas

No Sensoriamento Remoto, aparelhos chamados sensores remotos são acoplados a satélites ou aeronaves e enviam ondas de diversos comprimentos para superfície terrestre. Cada objeto atingido pela onda reflete uma quantidade de energia que é captada pelo sensor; objetos claros refletem muita energia (por exemplo, solo exposto) enquanto objetos escuros (por exemplo, água sem sedimentos) refletem pouca energia.

Uma imagem de sensoriamento remoto colorida é resultante da combinação das três cores básicas (azul, verde e vermelho), associadas às imagens individuais obtidas em diferentes comprimentos de onda (bandas).

3.2.2. Resolução Espacial, Espectral, Radiométrica e Temporal

No sensoriamento remoto, a forma de transmissão dos dados (do objeto para o sensor) é através da Radiação Eletromagnética (REM) em diferentes comprimentos de onda. Cada objeto reflete a REM correspondente a sua cor, textura, densidade, posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria e absorve as REM correspondente as outras cores e demais características. Objetos da superfície terrestre, como a construção, vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características biofísicas e químicas, gerando assinaturas espectrais. (PAMBOUKIAN, 2015b)

Segundo Pamboukian (2015b), os dispositivos sensores possuem 4 tipos de resolução:

- Resolução Espacial: é a dimensão de cada pixel da imagem que corresponde a uma determinada dimensão no “mundo real”. Por exemplo, em imagens com resolução de 30m, um pixel corresponde à área real de 30m x 30m. Quanto menor for a área real representada por um pixel, maior será a resolução espacial da imagem;
- Resolução Espectral: está relacionada ao número de bandas do sensor. As bandas estão situadas em regiões espectrais específicas e possuem larguras estreitas de comprimentos de onda que permitem distinguir um material de outro;
- Resolução Radiométrica: está relacionada à intensidade de radiância (fluxo de REM) captada por um pixel unitário do sensor. Maior será a resolução radiométrica, quanto maior for a capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância;
- Resolução Temporal – É o período de tempo que um satélite volta a visitar uma mesma área, por exemplo, 16 dias no caso do Landsat 8.

3.2.3. Imagens EMPLASA e LANDSAT

Os sensores do satélite Landsat apresentam, em geral, resolução de 30m x 30m por pixel, gerando imagens com baixa resolução, o que, dependendo da aplicação, dificulta o estudo da região analisada.

Nos levantamentos realizados pela EMPLASA, foram utilizadas fotografias aéreas ortorretificadas na escala 1:25.000, com resolução aproximadamente 1m x 1m. Portanto esses levantamentos apresentam um nível de detalhe visivelmente mais amplo do que das imagens de satélite Landsat.

Cada pixel da imagem formada pela digitalização da fotografia aérea é formado por três cores são RGB (Red, Green, Blue), sendo que cada cor possui 256 diferentes tons, a combinação dessas três cores resulta nas demais cores, com a possibilidade de 16.777.216 diferentes cores em cada pixel de cada feição analisada desta imagem. Assim, se classificarmos diferentes conjuntos de pixels de uma determinada feição, pode-se produzir diferentes produtos cartográficos. (NASCIMENTO; GALIANO, 2013)

3.3. Classificação supervisionada

3.3.1. Combinação de bandas

Em geral, as imagens de sensoriamento remoto apresentam diversas bandas, com comprimentos de onda específicos. Dentro de um SIG é possível escolher 3 dessas bandas para serem apresentadas em um mapa nas cores RGB. Este procedimento é conhecido como composição de bandas.

No SIG é possível especificar a ordem na qual as bandas serão compostas, em virtude de cada combinação resultar em uma imagem que destaque uma característica específica da superfície retratada. As melhores bandas para o estudo do uso do solo e expansão urbana são as bandas 5, 4 e 3 (vermelho, verde e azul), no caso do Landsat 8.

Para realizar uma classificação supervisionada podem ser utilizadas todas as bandas disponíveis, mesmo que a quantidade seja superior a 3.

3.3.2. Classificação

Pode-se definir “classificação digital de imagens” como sendo um procedimento de obtenção de informações de imagens a fim de caracterizar e diferenciar os padrões e os objetos da superfície física terrestre. Uma classificação pode ser do tipo supervisionada ou

não-supervisionada. Tais informações são determinantes para a escolha adequada do algoritmo que realizará o agrupamento das informações espectrais. Entre os algoritmos mais importantes tem-se: Isodata (pixel a pixel e não supervisionado), Máxima Verossimilhança (pixel a pixel e supervisionado), Isoseg (por regiões e não supervisionado), Bhattacharya (por regiões supervisionado), entre outros. (PRINA; TRENTIN, 2015)

Uma das alternativas para a realização da classificação supervisionada no QGIS é o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). O SCP é um complemento desenvolvido para o QGIS que possibilita a classificação pixel a pixel supervisionada de imagens. As ferramentas disponíveis realizam o pré-processamento de imagens, o pós-processamento de classificações e álgebras de mapas. Com o SCP é possível criar áreas amostrais, denominadas ROIs (*Regions of Interest*), de forma rápida, selecionando-se amostras homogêneas e definindo suas classes. Em seguida, o *plugin* salva as áreas de treinamento em um arquivo formato *shapefile* (.shp) e gera um gráfico de assinaturas espectrais, que são calculadas automaticamente e podem ser visualizadas em um histograma. O SCP também permite realizar visualizações prévias das partes classificadas da imagem, para verificar se é necessária ou não a exclusão de algumas assinaturas criadas. Quando as visualizações apresentaram coerência com as imagens, gera-se um arquivo *raster* no formato GeoTiff, no qual é possível visualizar a classificação completa da imagem de acordo com as cores pré-estabelecidas para cada classe.

3.3.3. Matriz de Confusão, coeficiente Kappa e Acurácia

Para determinar a acurácia da classificação, existem alguns elementos que podem ser analisados, como a matriz de confusão e o coeficiente Kappa.

A matriz de confusão representa a qualidade obtida de uma classificação supervisionada ou não supervisionada de uma imagem, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados de referência com os dados classificados. Desta forma, essa rotina também pode ser expressa, pela análise das amostras de treinamento juntamente com os dados classificados. O coeficiente Kappa é uma das variáveis que podem ser quantificadas após construir a matriz de confusão, sendo um índice que retrata o grau de concordância dos dados, gerando, assim, um aspecto de confiabilidade e precisão dos dados classificados. O resultado obtido pelo coeficiente Kappa, varia no intervalo de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo a 1, melhor a qualidade dos dados classificados. (PRINA; TRENTIN, 2015)

A acurácia é determinada pela proximidade entre o valor obtido experimentalmente e o valor verdadeiro na medição de uma grandeza física. A estimativa da acurácia consiste em

um cálculo probabilístico, no qual é esperado que a força da concordância em que a classificação feita pelo observador (evento A) e a aleatória (evento B) sejam independentes, já que probabilidade de ambos classificarem igualmente um mesmo pixel é dada pelo produto das probabilidades individuais de A e B. Para este cálculo usa-se um coeficiente chamado *Kappa*. Assim como a acurácia geral, o coeficiente Kappa quantifica a concordância entre a escolha de amostras realizada pelo observador e a escolha feita de forma aleatória, dentro de um intervalo satisfatório, incluindo neste cálculo um fator que subtrai a interferência do acaso. O SCP não calcula este coeficiente, porém o arquivo .csv gerado no processamento da matriz de confusão pode ser aberto em planilha eletrônica.

4. GERAÇÃO DE MAPAS DE USO DO SOLO DA RMSP

Neste projeto, a localização de áreas urbanizadas foi realizada através da análise de imagens de sensoriamento remoto, utilizando o método de classificação supervisionada, e também através de dados do Censo IBGE 2010.

Para auxiliar a verificação das informações obtidas na análise das imagens orbitais (sobre a extensão da área urbana), as mesmas foram comparadas com os dados oficiais do IBGE.

O processo de classificação dividiu-se em 3 etapas básicas:

1. definição do que se quer extrair da imagem, ou seja, que classes se pretende obter. As classes escolhidas para o desenvolvimento desta pesquisa foram: Solo Exposto, Vegetação, Área Urbanizada e Água;
2. criação das amostras homogêneas para treinamento do algoritmo de classificação. A classificação individual de cada município da RMSP foi realizada com análise da superfície dos terrenos nas fotografias aéreas georreferenciadas cedidas pela empresa EMPLASA, que possui boa resolução e possibilitou a verificações de todas as feições e usos do solo existentes em cada local estudado. Também foi feita a classificação de imagens do satélite Landsat, com menor resolução, para a RMSP completa;
3. a transformação das classes em vetores, para análise dos atributos da região em estudo. Esta fase faz parte do pós-processamento e inicia com a criação do *shapefiles* que contém os dados amostrais.

A primeira tentativa de classificação foi realizada com fotografias aéreas digitalizadas e obtidas por fotogrametria pela EMPLASA e a segunda tentativa foi realizada a classificação das imagens do satélite Landsat obtidas através do site do INPE. O Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) utilizado no projeto foi o SIRGAS 2000 / UTM zona 23S (EPSG:31983).

As cores utilizadas para cada classe foram: rosa para áreas urbanizadas, amarelo para solos expostos, azul para água e verde para vegetação. Posteriormente foi realizado o cálculo das áreas das classes contidas dentro do produto cartográfico pela ferramenta Calculadora de Campo do QGIS, para se obter uma análise quantitativa, além da análise visual.

O que se tem disponível na literatura relacionada a este tema, são os mapas fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no qual as datas da maioria das imagens que serviram de base para o mapeamento estão compreendidas entre os anos de 2005 e 2007. O IBGE disponibiliza para download o produto Áreas Urbanizadas do Brasil - 2005. Tal produto refere-se ao mapeamento (vetorização) de áreas urbanizadas a partir de imagens de satélite CBERS-2B em escala de 1:100.000.

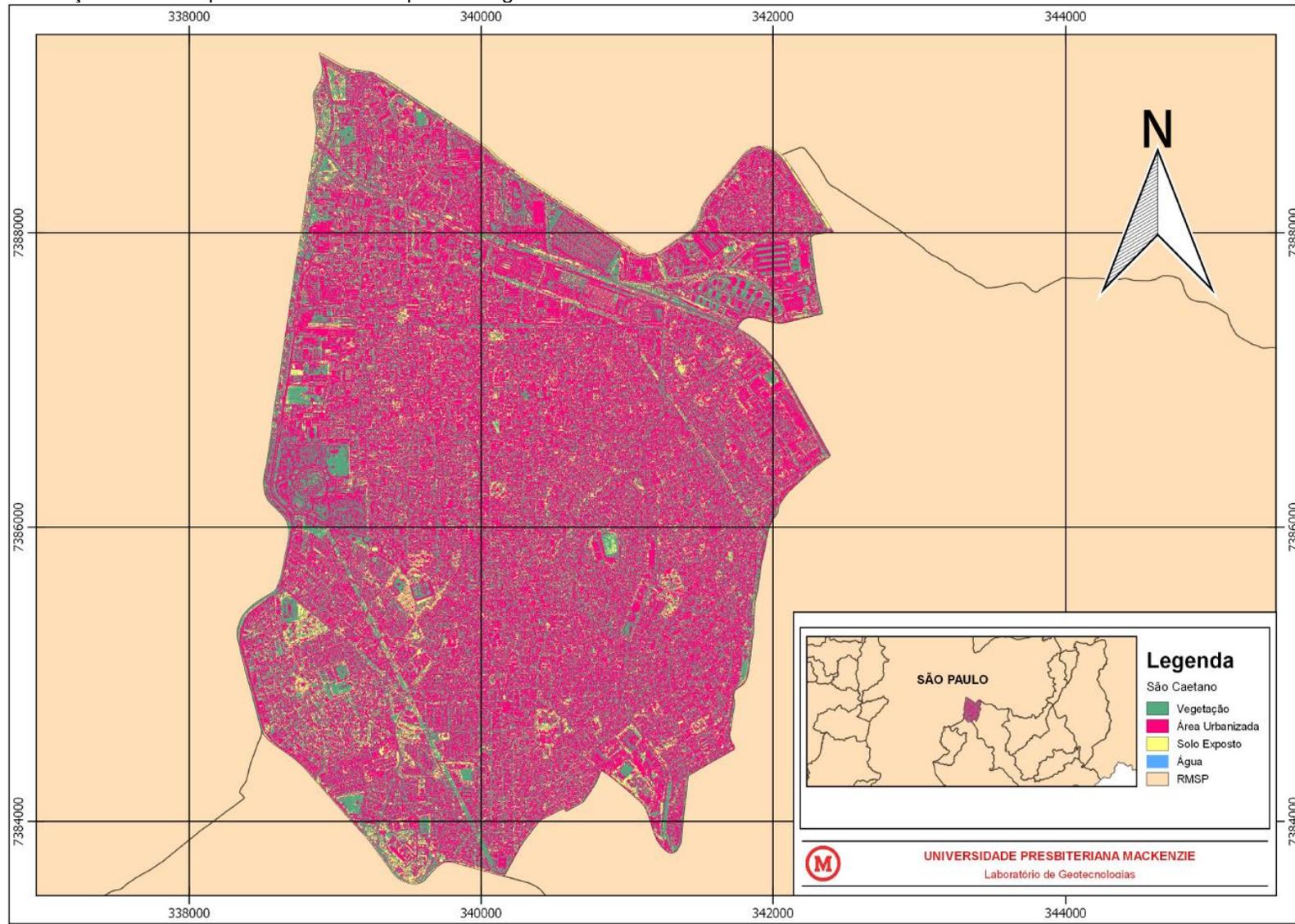
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As áreas urbanizadas são áreas arruadas e efetivamente ocupadas por usos residencial, comercial e de serviços, caracterizadas por ruas e edificações. Reconhece-se nesse estudo as áreas urbanizadas toda a mancha em rosa, que consiste em uma certa região que apresenta uma intensa urbanização.

Como a RMSP possui uma ampla extensão territorial, a geração do mapa com áreas classificadas pelas imagens da EMPLASA torna-se inviável devido ao fato de a resolução tornar o processamento muito lento. Análise de grandes áreas não exige uma alta resolução, todavia para análise de extensões territoriais menores viabiliza este tipo de classificação

Para a primeira tentativa foram estudados os municípios de Salesópolis, Guararema, Biritiba-Mirim e Juquitiba, São Caetano do Sul e Carapicuíba. O Mapa 1 mostra a classificação do município de São Caetano utilizando-se imagens da EMPLASA com resolução espacial de 1m.

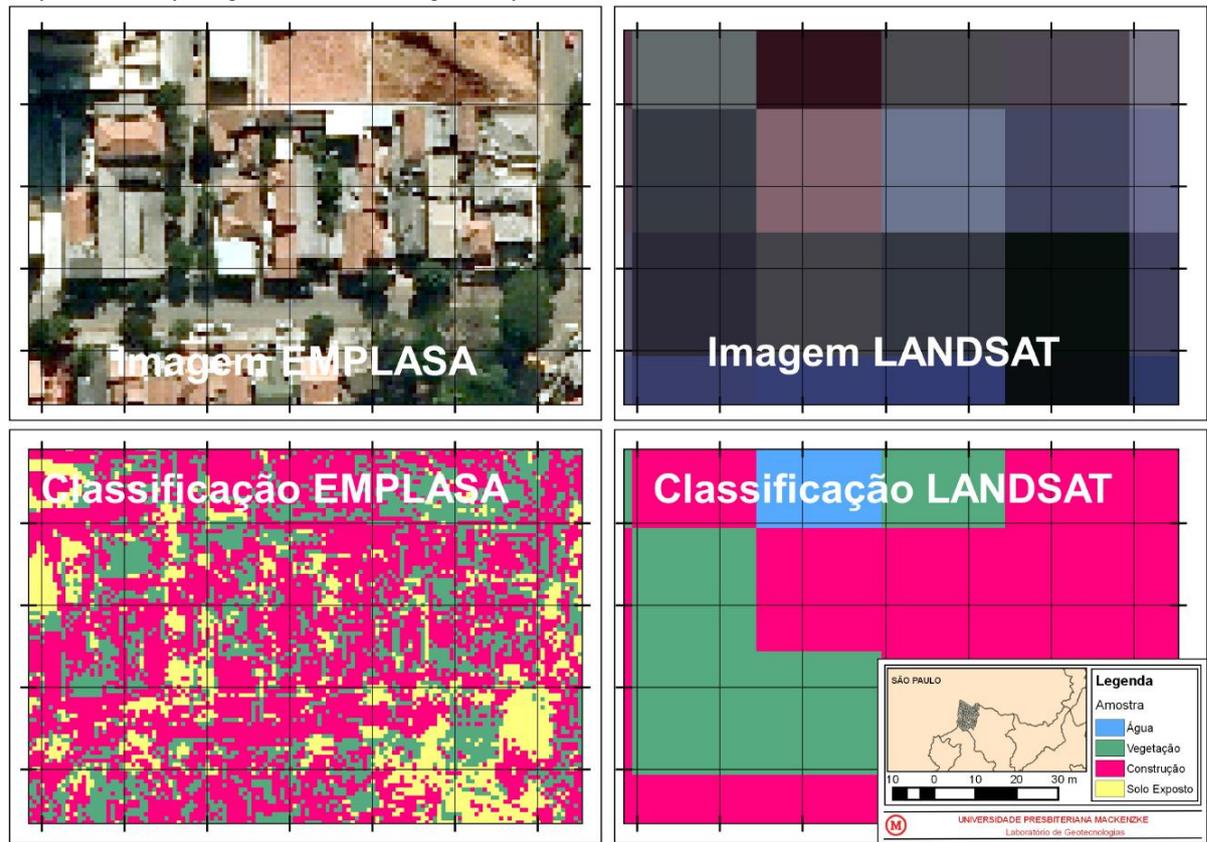
Mapa 1 - Classificação do município de São Caetano pelas Imagens da EMLASA



Fonte: O autor

Em contrapartida, na classificação das imagens da EMPLASA, a qualidade da imagem classificada obtida se alterou por dois aspectos: a quantidade de pixels por polegada (resolução da imagem) e o número de pixels na horizontal e na vertical (tamanho da imagem). Observa-se a interferência entre as feições analisadas, neste caso sombras se confundiam com vegetação, telhados com ruas e solos expostos, etc., porque essas feições na composição RGB tem cores que são aproximadas.

Mapa 2- Comparação da Classificação Supervisionada.



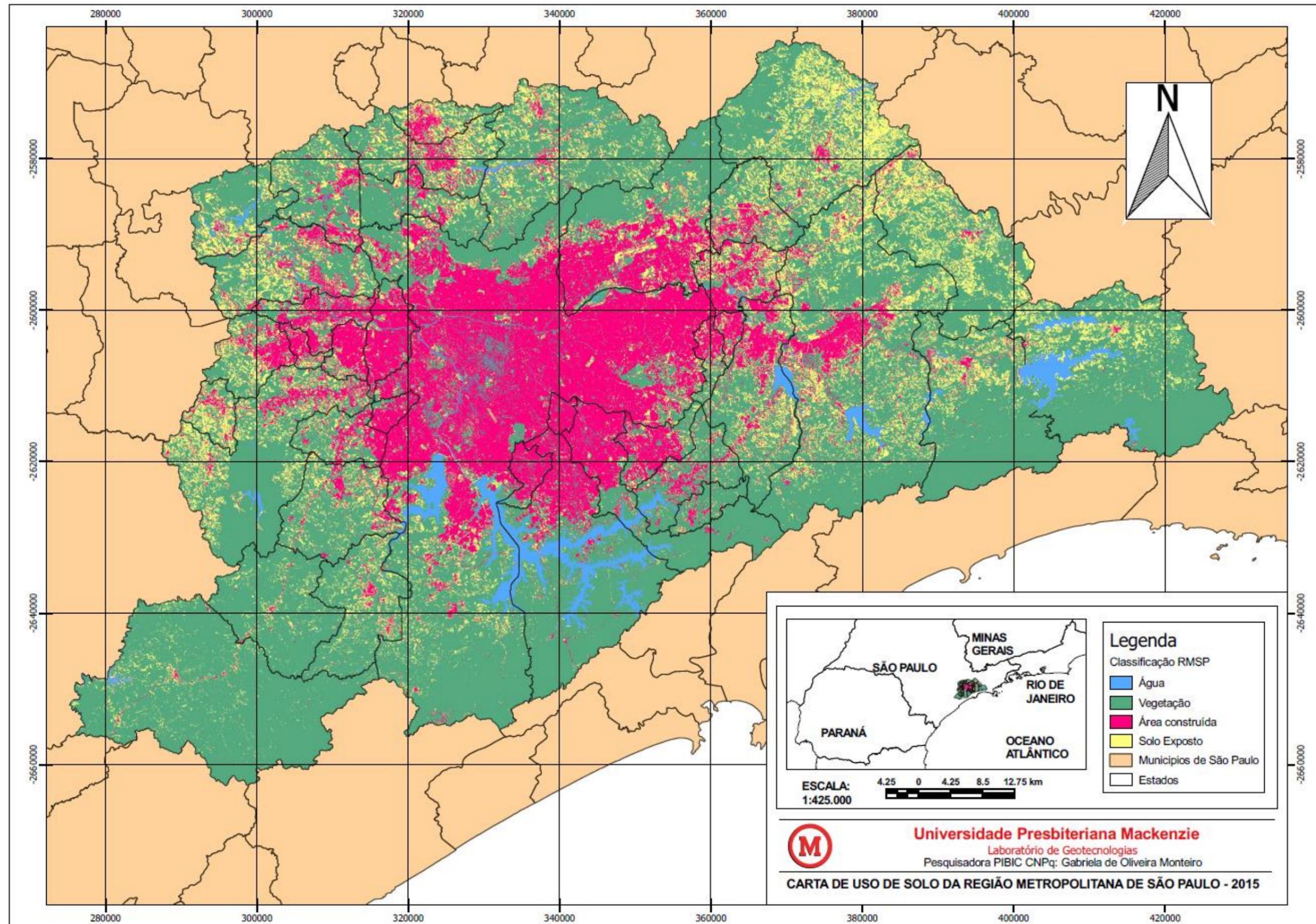
Fonte: O autor, segundo imagens EMPLASA e LANDSAT

Foram fornecidas pelo INPE imagens da RMSP dos satélites LANDSAT 5, 7 e 8 do ano de 2015. Nesse caso, primeiro foi realizada a classificação supervisionada das classes de cada município com auxílio do QGIS. Com os resultados das classificações e consequente identificação das feições, foram calculadas e comparadas as áreas de cada município e identificada a área urbanizada atual.

Houve alguns conflitos na classificação da classe "Água", mas para isso, realizou-se a criação manual de uma nova camada vetorial, contornando a região em conflito, obtendo uma nova feição do tipo água.

E por fim, foi elaborada a Carta de Uso e Ocupação do solo do território completo da RMSP, através dessas imagens como observado no Mapa 3.

Mapa 3- Carta de Uso de Solo do território da RMSP pelas imagens do LANDSAT



Fonte: O autor, a partir de dados fornecidos pelo IBGE e imagens LANDSAT (2015)

Utilizando a Calculadora de Campo do QGIS, foi possível calcular a área de cada classe (água, vegetação, construção e solo exposto) e elaborar uma tabela para organização dos dados no software Microsoft Excel (Tabela 1).

Tabela 1- Extensão territorial e resultados da classificação supervisionada.

Municípios	Água	Vegetação	Construção	Solo Exposto	Área Classificada	Área IBGE	Diferença
	km ²	km ²	km ²				
Aruja	0,33	51,25	18,41	28,07	98,07	96,167	1,90
Barueri	1,34	17,05	36,60	13,10	68,09	65,701	2,39
Biritiba	6,28	259,30	10,02	43,77	319,37	317,406	1,97
Caieiras	0,31	68,00	14,20	15,81	98,32	97,642	0,68
Cajamar	0,71	83,49	20,01	28,37	132,58	131,386	1,19
Carapicuíba	0,26	5,76	23,02	5,59	34,63	34,546	0,08
Cotia	3,74	195,53	43,27	87,80	330,34	323,994	6,35
Diadema	0,57	6,50	22,08	1,51	30,65	30,732	-0,08
Embu	0,26	36,41	20,79	13,93	71,39	70,398	0,99
Embu-Guaçu	0,87	121,05	7,39	27,10	156,42	155,641	0,78
Ferraz de Vasconcelos	0,01	10,09	13,52	5,95	29,58	29,564	0,01
Francisco Morato	0,01	18,98	12,87	18,82	50,68	49,001	1,68
Franco da Rocha	1,59	65,46	30,82	36,82	134,70	132,8	1,90
Guararema	1,44	124,84	9,07	144,87	280,22	270,8	9,42
Guarulhos	2,31	134,32	144,10	40,84	321,57	318,68	2,89
Itapeçerica da Serra	0,85	103,10	16,87	31,14	151,96	150,742	1,22
Itapevi	0,16	39,44	20,94	23,79	84,33	82,658	1,68
Itaquaquecetuba	1,20	12,72	45,76	23,56	83,23	82,62	0,61
Jandira	0,04	4,08	9,54	4,03	17,69	17,449	0,24
Juquitiba	3,68	489,09	4,05	25,23	522,05	522,169	-0,12
Mairiporã	3,92	233,97	18,01	67,33	323,22	320,697	2,52
Mauá	0,34	19,94	33,11	8,65	62,04	61,909	0,13
Mogi das Cruzes	17,87	461,17	78,60	165,96	723,59	712,54	11,05
Osasco	0,65	9,32	50,08	5,90	65,95	64,954	1,00
Pirapora do Bom Jesus	4,49	73,56	5,42	26,75	110,22	108,489	1,74
Poá	0,05	3,21	10,46	3,61	17,32	17,264	0,06
Ribeirão Pires	5,33	62,64	20,39	14,13	102,49	99,08	3,41
Rio Grande da Serra	0,16	29,67	3,63	2,93	36,40	36,341	0,06
Salesópolis	12,77	347,81	5,20	61,94	427,71	424,997	2,72
Santa Isabel	4,42	167,58	19,96	176,84	368,80	363,33	5,47
Santana de Parnaíba	2,31	104,71	31,96	52,00	190,98	179,95	11,03
Santo André	6,55	105,32	58,03	6,53	176,43	175,782	0,64
São Bernardo do Campo	65,81	263,97	66,86	16,40	413,04	409,53	3,51
São Caetano do Sul	0,19	1,35	13,15	0,53	15,23	15,331	-0,10
São Lourenço da Serra	0,44	170,76	2,25	12,81	186,26	186,456	-0,20
São Paulo	63,15	468,77	764,77	245,41	1542,09	1521,11	20,98
Suzano	7,85	84,01	55,76	64,64	212,27	206,24	6,03
Taboão da Serra	0,09	3,68	15,01	1,61	20,39	20,388	0,00
Vargem Grande Paulista	0,09	17,99	6,79	19,85	44,72	42,489	2,23
Área Total	222,44	4475,8865	1782,78	1573,93	8055,03	7946,97	108,06

Fonte: O autor

De acordo com as áreas municipais disponíveis no IBGE, e a Tabela 1, alguns municípios a diferença foi desprezível, porém em outros houve diferenças significativas.

Ao analisarmos o município de São Caetano como amostra, observa-se que a área total classificada é de 15,23 km², sendo que sua extensão territorial é de 15,33 km², encontramos uma margem de erro de 0,1 km². Através da classificação observamos que 13,15 km² é de área urbanizada, o que se conclui que o município já está consolidado. Os municípios de Osasco, com área de 65,95km² sendo reconhecida área construída de 50,08 km² e Taboão da Serra com área de 20,39km² sendo reconhecida área construída de 15,01 km² conclui-se que estão em processo de consolidação. Essa tendência segue nas zonas periféricas da cidade de São Paulo e suas ramificações se estendem, por sua maior parte no sentido Leste-Oeste e em menor parte no sentido Norte-Sul, sendo que as áreas do entorno serão ocupadas, exercendo forte pressão sobre os recursos naturais existentes (ex. Serra da Cantareira, Serra do Mar, represas Billings e Guarapiranga).

Observa-se através da mancha urbana (em rosa) do Mapa 2 que, 20 dos 39 municípios que compõem a RMSP têm suas áreas urbanas conurbadas, ou seja, constituem um contínuo urbano quase totalmente impermeabilizado. São eles: Barueri, Carapicuíba, Diadema, Embu das Artes, Ferraz de Vasconcelos, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Poá, Santo André, São Bernardo, São Caetano, São Paulo, Suzano e Taboão da Serra.

A hipótese de se considerar as grandes diferenças de áreas entre a classificação e a extensão territorial de cada município serem dadas por ocorrência de maiores áreas foi desconsiderada ao analisar que o município de Juquitiba, com área de 522,2 km² e área reconhecida pelo QGIS de 522,61 km², e também no município de Salesópolis com uma área aproximada de 425 km², foi reconhecido 427,97 km².

Em contrapartida, o Município de São Paulo constou a maior diferença, sua área de extensão territorial segundo o IBGE é de 1521,11 km² e o SCP classificou 1542,09 km², dando uma diferença de 20,98 km².

Tais diferenças se devem, provavelmente, ao recorte dos municípios realizado nas imagens orbitais.

Em seguida, foi realizada uma análise da matriz de confusão gerada pela classificação para estimativa da acurácia. Ao analisar o município de São Paulo obteve-se resultado visto na Tabela 2.

Tabela 2- Matriz de erro do SCP

ERROR MATRIX					
V Classification	0	1	2	3	Total
0	3653	0	1	0	3654
1	8	1025	0	43	1076
2	0	0	1	272	273
3	1	0	71	71	143
Total	3662	1025	73	386	5146
Diagonal =					4750

Coeficiente Kappa $K = (K1-K2) / (1-K2) = 0,908583$

Escala de valor Kappa	
Coeficiente Kappa	Força da concordância
Menor que zero	<i>Poor</i>
0 a 0,2	<i>Slight</i> (desprezível)
0,21 a 0,4	<i>Fair</i> (suave)
0,41 a 0,6	<i>Moderate</i> (moderada)
0,61 a 0,8	<i>Substantial</i> (substancial, grande)
0,81 a 0,1	<i>Almost perfect</i> (quase perfeita)

Fonte: O autor, segundo dados de acurácia do SCP

O coeficiente Kappa = 0,9 indica uma classificação quase perfeita, segundo a escala.

Portanto, concluímos que, apesar da diferença ser aproximadamente 20 km² entre a área classificada e sua extensão real, esta margem é tolerável para o estudo em questão, em virtude da escala utilizada para visualização do mapa de Uso do Solo da RMSP.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho abordamos conceitos de SIG e resoluções de imagens matriciais, ponderando tipos de classificações para cada caso. O uso de técnicas de geoprocessamento e imagens de Sensoriamento Remoto facilitou a interpretação das informações obtidas, possibilitando a obtenção da Carta de Uso de Solo para um melhor reconhecimento da região em estudo. Os objetivos de análise do território foram alcançados, e é possível reconhecer, identificar e caracterizar qualquer área dentro da RMSP, de modo a discutir e analisar todos os fatores levantados através do mapa criado.

Em vista dos argumentos apresentados, conclui-se que o planejamento territorial é essencial de modo a evitar que a população cresça e se espalhe dentro da mesma

lógica de uso e ocupação do presente. Essa lógica de uso e ocupação atual foi moldando a paisagem da região metropolitana, a qual tornou-se de uma megametrópole cada vez mais inóspita, poluída e dependente de suporte tecnológico sofisticado para superar e solucionar problemas sociais decorrentes deste modelo de expansão urbana verificado no produto cartográfico apresentado. Muitos dos problemas socioambientais que ocorrem na metrópole da atualidade demonstram que houve um crescimento acima de suas condições de absorção dos impactos decorrentes de sua estruturação urbana.

É imprescindível que todos se conscientizem de que essa expansão se propagou por todos os tipos de terrenos: várzeas, encostas dos morros, divisores de águas e as serras que limitam a bacia sedimentar e, para que todos os espaços pudessem ser capitalizados, foi preciso implantar todo o tipo de estrutura urbana que, de certo modo, serviu para sujeitar os atributos naturais, aterrando e drenando áreas úmidas, mudando cursos dos rios, canalizando e retificando meandros, drenando e rebaixando o lençol freático, removendo vegetação nativa, eliminando o solo, alterando a topografia original.

REFERÊNCIAS

COSTA, M. A.; TSUKUMO, I. T. L. (Org.). *40 anos de regiões metropolitanas no Brasil*. In: Série Rede Ipea. Projeto Governança Metropolitana no Brasil; v. 1. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/livro_40_anos_de_regioes_metropolitanas_v1_web.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2015.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. (EMPLASA). *Ortofotos*. São Paulo, 2010-2011. Escala 1: 25.000.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO URBANO S.A. (EMPLASA). *Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.emplasa.sp.gov.br/emplasa/Indicadores/gsp.asp>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA, G. *Modelagem Numérica de Terreno*. In: CÂMARA, G.; DAVIS JR, C.A.; MONTEIRO, A.M.V. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Cap. 7.

FIGUEIREDO, D. *Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto*. Manuais. In: Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). In: *Informações sobre os municípios brasileiros*. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 jul. 2016

LANDSAT TM 5; TM 7; TM 8: imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Fotografias aéreas. Escala 1:100.000. Composição colorida 5, 4 e 3.

NASCIMENTO, V. M. da C.; GALIANO, V. A. *Aplicação de um sistema de informações geográficas para caracterização da microbacia do córrego Barrinha*, Pirassununga-SP. Boletim Técnico do CEPTA – V. 12 p. 71-79 Pirassununga-SP. ISSN 0103-1112.

PAMBOUKIAN, S. V. D. *Quantum GIS: Conceitos Básicos*. Tutorial. [São Paulo], UPM, Laboratório de Geotecnologias, [201-]. Disponível em: <http://labgeo.mackenzie.br/fileadmin/LABGEO/Curso/01._Aula_01/0101._Geoprocessamento.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2015

PAMBOUKIAN, S. V.D. *Sensoriamento Remoto*. Tutorial. [São Paulo], UPM, Laboratório de Geotecnologias, [201-]. Disponível em: <http://labgeo.mackenzie.br/fileadmin/LABGEO/Curso/08._Aula_08/0803._Sensoriamento_Remoto.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2016.

PRINA, B. Z; TRENTIN, R. Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2015, João Pessoa. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2015. p. 131-139. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0031.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

SILVA, J. de C.; MONTEIRO, G. de O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. *Introdução ao Geoprocessamento*. In: Congresso Alice Brasil, 5., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2015.

SILVA, J. de C.; MONTEIRO, G. de O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. *Sistema de Informações Geográficas (SIG)*. In: Congresso Alice Brasil, 5., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2015.

CONTATOS: gabrielaoliveiramonteiro@gmail.com e magdaduro@gmail.com