

DETECÇÃO DE MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBUÍ EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS/SP

Luiz Philippe Pereira, FATEC Jacareí;

Karla Conceição Pereira, SAA/APTA Vale do Paraíba;

karlaconceicaopereira@gmail.com

Gerson de Freitas Júnior, FATEC Jacareí

;

Eduardo Oliveira Estiliano, Fatec – Jacareí

.

RESUMO

As paisagens têm sofrido intensas modificações ao longo do tempo e entre as interferências humanas mais significativas no funcionamento dos sistemas ecológicos estão as mudanças nos atributos biofísicos da superfície terrestre. Os objetivos deste estudo foram identificar, mapear e quantificar as alterações no uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí, município de São José dos Campos, estado de São Paulo, a partir de cenas do sensor OLI/Landsat-8 no período entre os anos 2013 e 2018. Foi aplicado o algoritmo da máxima verossimilhança ICM (Max-Ver-ICM), que possibilitou a classificação semiautomática de 8 classes temáticas de uso e cobertura da terra mediante adaptações, seguido de observações em campo para validação. Os resultados indicaram um aumento em área de 3,50% (6,97 ha) da classe solo exposto, 22,20% (215,51 ha) da classe área urbana e 42,69% (559,85 ha) da classe pasto sujo, atribuída em parte à redução em área de 43,71% (17,64 ha) da classe área agrícola, 39,08 % (703,21 ha) da classe pastagem e 7,04% (53,50 ha) da classe mata/capoeira respectivamente. A aplicação da técnica de detecção de mudanças do uso e cobertura da terra permitiu inferir a tendência de aceleração do processo de desenvolvimento urbano da região, recomendando-se, a continuidade dos trabalhos para o monitoramento ambiental da área de estudo, bem como o uso de técnicas mais sofisticadas para análise da dinâmica entre classes temáticas compostas por diferentes vegetações.

Palavras-chave: Paisagem. Sistemas de Informação Geográfica. Monitoramento ambiental

ABSTRACT

The landscapes have undergone intense changes over time and among the most significant human interferences in the functioning of ecological systems are changes in the biophysical attributes of the earth's surface. The objectives of this study were to identify, map and quantify changes in land use and land cover in the Cambuí hydrographic sub-basin, municipality of São José dos Campos, state of São Paulo, based on scenes from the OLI / Landsat-8 sensor between the years 2013 and 2018. The ICM Maximum Likelihood algorithm (Max-Ver-ICM) was applied, which enabled the semi-automatic classification of 8 thematic classes of land use and land cover through adaptations, followed by field observations for validation. The results indicated an increase in area of 3.50% (6.97 ha) of the exposed soil class, 22.20% (215.51 ha) of the urban area class and 42.69% (559.85 ha) of the class dirty pasture, attributed in part to the reduction in area of 43.71% (17.64 ha) of the class agricultural area, 39.08% (703.21 ha) of the class pasture and 7.04% (53.50 ha) of the mata/capoeira class respectively. The application of the technique for detecting changes in land use and land cover allowed us to infer the tendency to accentuate the urban development process in the region, recommending the continuity of work for the environmental monitoring of the study area, as well as the use of more sophisticated

techniques for analyzing the dynamics between thematic classes composed of vegetation.

Keywords: Public Management. Bureaucracy. SNA.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente natural é moldado pela dinâmica dos diversos fatores que o formam, podendo ser observadas no plano físico através da paisagem (CAVALHEIRO; ANDRADE, 1983). Resultante de uma contínua, indissociável e complexa interação entre elementos bióticos e abióticos (BERTRAND, 1971), as paisagens têm sofrido intensas modificações antrópicas ao longo do tempo, com velocidade, magnitude e extensão territorial sem precedentes (MORAN, 2008). Mudanças na cobertura da terra (atributos biofísicos da superfície terrestre) e no uso da terra (propósito humano aplicado a estes atributos) constituem as alterações humanas mais significativas no funcionamento dos sistemas ecológicos (LAMBIM et al., 2001).

Um dos maiores desafios no manejo do uso das terras está no uso sustentável do ambiente, baseado em uma dinâmica de transformação com igual ênfase, nas dimensões ambiental e humana da paisagem (FORMAN; COLLINGE, 1997). Desta forma, a utilização de produtos de sensoriamento remoto associadas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tornaram-se um instrumento de vital importância em pesquisas com enfoque em bacias hidrográficas (ROSENDO; ROSA, 2007; ROSAN; ALCANTARA, 2016).

De acordo com Santos e Piroli (2015) o emprego desses recursos possibilita certa agilidade na obtenção de resultados satisfatórios, por automatizar os procedimentos feitos de forma manual e facilitar a realização de exames pormenorizados da área de estudo. Tais capacidades proporcionam um conhecimento atualizado do uso e cobertura da terra, ao permitir a identificação de padrões homogêneos na superfície terrestre (LEITE; ROSA, 2012). Sendo assim, a observação remota do desenvolvimento das paisagens no tempo configura-se como um pré-requisito para a análise do curso destes processos, e diagnóstico do presente cenário (LANG; BLASCHKE, 2009).

Para o alcance da eficácia no monitoramento do ambiente, faz-se necessário a adoção de alguns critérios de significância, como a origem e a constatação da alteração da paisagem, a direção, intensidade e extensão da transformação na superfície da terra (PANTOJA et al., 2009). Neste sentido, técnicas de detecção de mudanças do uso e cobertura da terra assumem potencial aplicabilidade na determinação dessas variáveis, por terem a capacidade de traduzir

a complexa dinâmica espaço-temporal da paisagem em uma linguagem sintética através de mapas temáticos (ANDERSON et al., 2004; STEMPNIAK et al., 2007).

Segundo Singh (1989) a detecção de mudanças “é um processo indicativo de diferenças no estado do objeto ou fenômeno observando-o em diferentes datas”. Este método envolve a aplicação de um conjunto de dados multi-temporais para quantificação dos efeitos temporais do fenômeno, possibilitando uma visão sinóptica e integrada das transformações ocorridas na área objeto de estudo (LU et al., 2004).

Estudos realizados na bacia do ribeirão Cambuí apresentaram um quadro de gradativas modificações ambientais com consequências na qualidade de vida da população (PAULA et al., 2011; BELISÁRIO et al., 2015). Mediante o exposto, o trabalho teve como objetivos: identificar, mapear e quantificar possíveis alterações no uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí, no município de São José dos Campos, estado de São Paulo, no período entre os anos de 2013 e 2018, por meio da utilização de recursos do sensoriamento remoto e geoprocessamento.

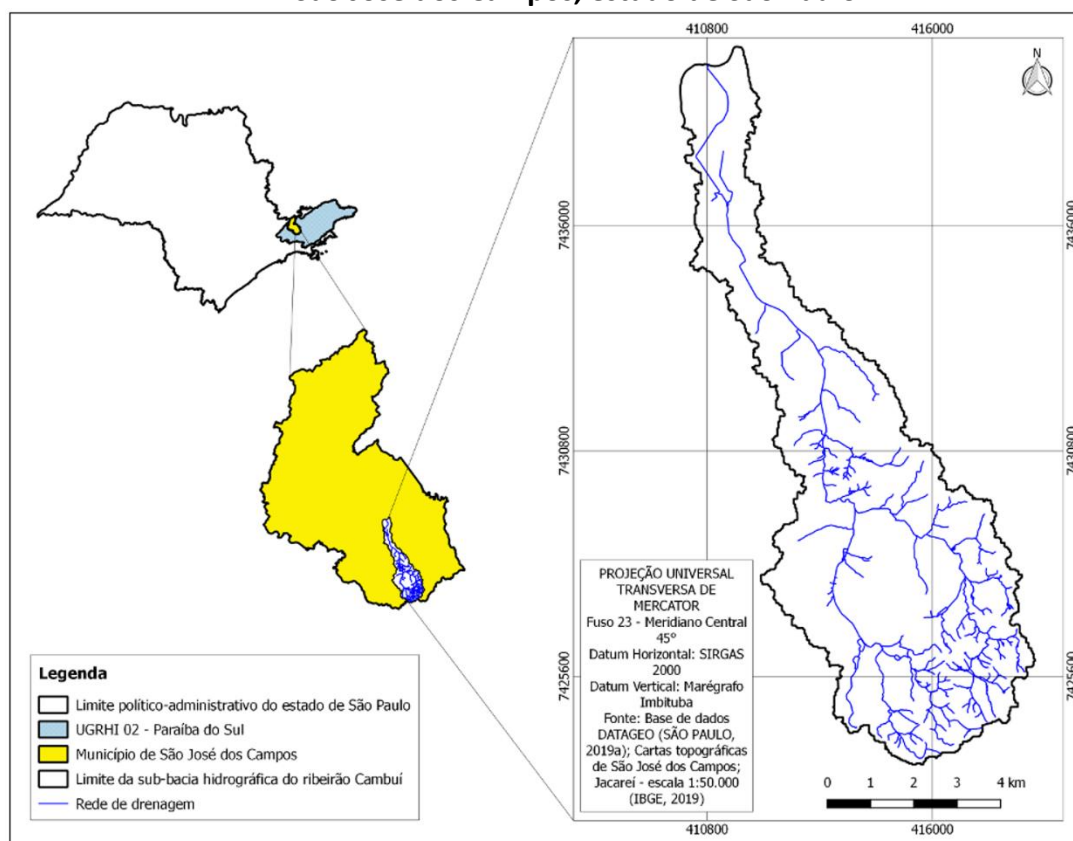
2. MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí está situada na região sudeste do município de São José dos Campos (Figura 1), nas zonas do médio Vale do Paraíba e Planalto do Paraitinga, porção leste do estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 23° 08' a 23° 17' de latitude sul e 45° 46' a 45° 53' de longitude oeste. Possui uma área de aproximadamente 52 km², com orientação sudeste-norte e integra o subcompartimento hidráulico CPS-PS-B da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Paraíba do Sul (UGRHI 02) (PAULA et al., 2011; REGEA, 2016).

A bacia é entrecortada no perímetro urbano pelas rodovias estaduais SP-70 (Rodovia Carvalho Pinto) e SP-99 (Rodovia dos Tamoios) à montante, e pela rodovia federal BR-116 (Rodovia Presidente Dutra) à jusante, estando os seus corpos d'água enquadrados na classe 4, no que se refere às condições de qualidade da água (SÃO PAULO, 1977; BELISÁRIO et al., 2015). As principais cabeceiras do ribeirão Cambuí encontram-se em uma região de terras altas, a uma altitude média de 730 metros em relação ao nível do mar, nas Áreas de Proteção Ambiental (APA) mananciais do rio Paraíba do Sul e Serra do Jambeiro (borda da Serra do

Mar), próximo ao limite entre os municípios de São José dos Campos, Jacareí e Jambeiro (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2006).

Figura 1: Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí, no município de São José dos Campos, estado de São Paulo



Fonte: Os autores (São José dos Campos/SP, 2019).

O regime climático da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo “Cwa” – mesotérmico úmido – caracterizado por ser quente e úmido no verão e frio e seco no inverno (IPPLAN, 2014). A precipitação média anual corresponde a 1.304,9 mm, concentrando-se nos meses de novembro a março e diminuindo entre maio e outubro (MORELLI, 2002). As temperaturas variam com média máxima de 29,6°C e média mínima de 12°C, sofrendo influência de fatores dinâmicos e estáticos (NIMER, 1989).

Quanto ao arcabouço geológico, a sub-bacia do ribeirão Cambuí é caracterizada por rochas das formações Pindamonhangaba, Resende e Unidade Paragnáissica (PERROTA et al., 2006). Situada na província geomórfica do Planalto Atlântico, possui a maior parte do território sobre a bacia sedimentar terciária de Taubaté, e uma pequena porção em morros cristalinos, formados por terrenos pré-cambrianos delimitados por uma zona de cisalhamento

indiscriminada (ALMEIDA, 1964). O relevo é constituído por planícies e terraços fluviais posicionados às margens da rede de drenagem e, colinas tubuliformes, com vertentes convexas associadas a morros baixos com encostas retilíneas e côncavas, apresentando anfiteatros de cabeceira de drenagem (IPT; CPRM, 2014). As classes de solos predominantes são classificadas como argissolo vermelho-amarelo (PVA65) a moderado com textura média-argilosa e gleissolos melânicos (GM) distróficos Tb textura argilosa (ROSSI, 2017).

A bacia do ribeirão Cambuí está inserida no domínio fitogeográfico da Mata Atlântica (PAULA et al., 2011). Possui uma paisagem caracterizada por ambientes de tensão ecológica, devido à ocorrência de áreas de contato entre formações fitoecológicas de Mata Atlântica e formações fitoecológicas não florestais de Savana Arbórea Aberta (SAA) em forma de enclave (PROJETO RADAM BRASIL, 1983). Na atualidade, a área é composta majoritariamente por pastagens. Talhões de reflorestamento de eucalipto entremeadas a remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual Montana dos Morros da Serra do Mar (FESMar) ocorrem na porção sul e, vegetação secundária desta última formação, conjunta a agrupamentos de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (FESA) nas várzeas dos cursos hídricos, no restante da bacia (MORELLI, 2002).

Para o desenvolvimento do trabalho foram adquiridas duas imagens orbitais digitais (nível 2T) do sensor OLI (*Operational Land Imager*), satélite Landsat-8, com correção geométrica, radiométrica e georreferenciadas para UTM, Datum WGS84 Zona 23 N. As cenas escolhidas foram LC82190762013244LGN01 e LC82190762018242LGN00, com datas de passagem de 01 de setembro de 2013 e 30 de agosto de 2018, identificadas pela órbita 219, ponto 76, respectivamente, e resolução espacial do pixel de 30 metros. O critério de seleção das imagens considerou a menor cobertura de nuvens, com uma classificação de grau 9 em qualidade. As cenas foram obtidas diretamente do sítio do Serviço Geológico Norte Americano (USGS) disponibilizadas na rede mundial de computadores sem custos e sem restrições de uso.

Os *softwares* utilizados neste estudo foram o SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, versão Windows 5.2.7 (CÂMARA et al., 1996), para o processamento digital das imagens de satélite e o QGIS - Quantum Gis, versão Windows 2.12.3 – Lyon para elaboração dos mapas temáticos referentes à localização geográfica da bacia e à configuração espacial das classes de uso e cobertura da terra. Além disso, foram utilizados um

conjunto de dados de planos de informações em formato *shapefile*: limite político-administrativo e divisão das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e perímetro territorial, rede de drenagem e bacias hidrográficas do município de São José dos Campos adquiridas na infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo – DATAGEO (2019).

A primeira etapa do trabalho consistiu na estruturação e organização do banco de dados geográficos com a criação de um projeto, sendo as cenas reajustadas à Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS-2000 Zona 23 Sul.

Em seguida, as imagens foram corrigidas geometricamente utilizando como referência cartográfica uma imagem *RapidEye* da plataforma Google Earth Pró, com resolução espacial de 14,25 metros, havendo a coleta e atribuição de 10 pontos de controle nas referidas cenas através da opção *aquisição por tela*. Este procedimento é denominado registro (LEITE; ROSA, 2011) e, segundo Câmara et al. (1996), compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência.

Posteriormente, as imagens de satélite foram submetidas à técnica de realce de contraste, visando à melhoria na qualidade visual das imagens. Esta aplicação permitiu que fossem alterado o histograma original, de modo a gerar uma nova imagem com o realce dos objetos de interesse e facilitar o trabalho de interpretação (NOVO, 2010).

Para facilitação na análise dos alvos, foi utilizada a composição colorida RGB com as bandas 6 (1,57 – 1,65 μm ; infravermelho médio), 5 (0,85 – 0,88 μm ; infravermelho próximo) e 4 (0,64 – 0,67 μm ; faixa espectral do vermelho) e composição falsa-cor: banda 5 (0,85 – 0,88 μm ; infravermelho próximo), 3 (0,53 – 0,59 μm ; faixa espectral do verde) e 2 (0,45 – 0,51 μm ; faixa espectral do azul).

No ambiente SPRING, foi aplicada a máscara da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí sobre as cenas Landsat-8, com o recorte da área de estudo posteriormente. Na sequência, as classes temáticas de uso e cobertura da terra foram adaptadas de Belisário et al. (2015), considerando através da tela do computador os elementos chaves de interpretação (tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, padrões e dados colaterais). Para análise preliminar e auxílio na coleta de amostras de treinamento das classes espectralmente representativas

nas cenas orbitais, foram usadas imagens de alta resolução do Google Earth (2013, 2018).

Logo, as cenas amostradas receberam a aplicação de classificação supervisionada através do algoritmo máxima verossimilhança ICM (Max-Ver-ICM), com um limiar de aceitação de 99% complementadas com campanhas de campo para refinamento e validação da interpretação das imagens. Após essa etapa, procedeu-se com a análise da qualidade das amostras adquiridas, com base no cálculo da matriz de confusão. Santos e Lima (2019) validaram a eficácia desta técnica ao compararem diferentes algoritmos de classificação supervisionada, em imagens Landsat-8, no mapeamento temático de uma bacia hidrográfica e obterem resultados satisfatórios.

Desta forma, as classes de uso e cobertura da terra adaptadas para o estudo foram: 1) área urbana; 2) área agrícola; 3) mata/capoeira; 4) pastagem; 5) pasto sujo; 6) reflorestamento; 7) solo exposto e 8) corpo d'água.

Efetivou-se o processo de pós-classificação das imagens classificadas, cujo objetivo consistiu na correção das áreas associadas, de forma errônea no processo de classificação automática com base na avaliação de determinados temas que não correspondessem às classes apropriadas.

Na etapa final, houve a exportação da base de dados do SPRING 5.2.7 para o software QGIS 2.12.3 - Lyon, procedendo-se com a elaboração do layout dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da classificação para os anos de 2013 e 2018 pode ser observado na Tabela 1 e Figura 2.

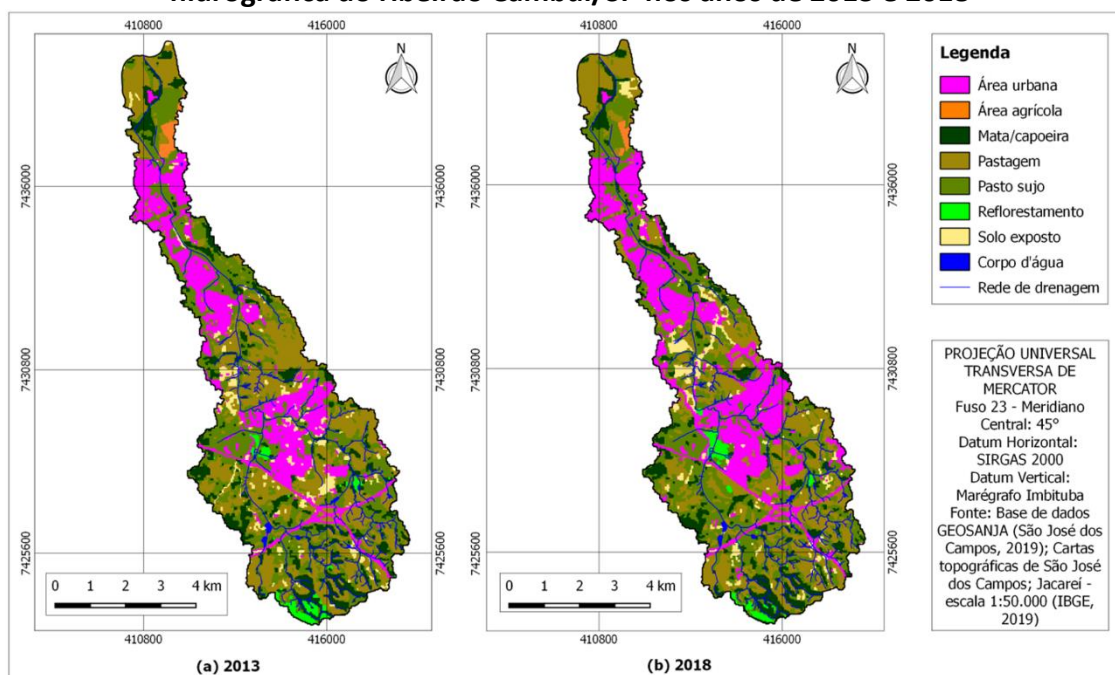
Após análises dos dados elaborados, observou-se um considerável aumento em área para as classes temáticas pasto sujo, solo exposto e área urbana. Este crescimento pode, em parte, ser atribuída à diminuição em área das classes pastagem, área agrícola e mata/capoeira entre 2013 e 2018.

Tabela 1: Quantificação da dinâmica do uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí/SP e suas respectivas porcentagens de ocorrência entre o período de 2013 e 2018

Classe temática	Ano				Variação	
	2013		2018			
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
Área urbana	970,92	18,79	1.186,43	22,96	215,51	22,20
Área agrícola	40,36	0,78	22,72	0,44	-17,64	43,71
Mata/capoeira	759,42	14,70	705,92	13,66	-53,50	-7,04
Pastagem	1.799,55	34,83	1.096,34	21,22	-703,21	39,08
Pasto sujo	1.311,30	25,37	1.871,15	36,22	559,85	42,69
Reflorestamento	76,47	1,48	68,58	1,33	-7,89	10,32
Solo exposto	198,95	3,85	205,92	3,99	6,97	3,50
Corpo d'água	9,72	0,19	9,63	0,19	-0,09	-0,93
Total	5.166,69	100,00	5.166,69	100,00		

Fonte: Os autores (São José dos Campos/SP, 2019).

Figura 2: Mapas temáticos das classes de uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí/SP nos anos de 2013 e 2018



Fonte: Os autores (São José dos Campos/SP, 2019).

No ano de 2013 (Figura 2a), mais da metade (60,20%) da área total da região de estudo,

ou seja, 3.110,85 ha estavam cobertos por pasto sujo (25,37%) e por pastagem (34,83%), equivalentes a 1.416,66 ha e 1.564,83 ha respectivamente. Conforme levantamento feito por Niemann (2012), aproximadamente 77% (38,48 km²) da sub-bacia do ribeirão Cambuí era representado por terrenos desocupados, sendo a maior parte classificados como terras cultiváveis com problemas simples de conservação. Estes dados retratam o histórico de transformações ocorridas pelo desenvolvimento de atividades econômicas agrárias de exploração do café, no início do século, e posteriormente atividades pecuárias, na região do Vale do Paraíba, espelhadas no município de São José dos Campos (MORELLI et al., 2007; STEMPNIK et al., 2007).

Em 2018, os resultados descritos na Tabela 1 apontaram um declínio de aproximadamente 703,21 ha na área de pastagem (-39,08%), e indicou, eventualmente, tendência inversa para a classe temática pasto sujo, a qual obteve um incremento em área de 559,85 ha, passando a ocupar 1.871,15 ha (36,22%) da área total da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí.

A análise do mapa temático de uso e cobertura da terra e dos dados quantitativos (Figura 2 e Tabela 1), permitiu verificar que o aumento em área da classe temática pasto sujo foi possibilitado, em parte, pela cessão de terrenos da classe temática área agrícola. Com porcentagens menores de ocorrência, a categoria área agrícola sofreu uma perda de 43,71% (40,36 ha para 22,72 ha), passando a perfazer no ano de 2018 o valor de 0,48% da área total da bacia. Belisário et al. (2015) avaliou a retração das atividades agrícolas nesta porção do território, ao constatar uma redução em área de 0,55 km² em 2014, em comparação ao ano de 2008 (1,29 km² para 0,74 km²).

Neste contexto, a ocorrência das pequenas glebas agrícolas identificadas no setor norte da bacia espelhou as observações feitas por Kurkdjian et al. (1992) a respeito da concentração de áreas cultivadas com culturas anuais e perenes ao longo da planície fluvial do rio Paraíba do Sul.

Os dados apresentados na Tabela 1 indicaram as maiores taxas de ocupação em área com pasto sujo, no entanto, cabe salientar a probabilidade desses valores estarem superestimados em função da resposta espectral semelhante a fitofisionomias de Cerrado. Conforme a literatura e pesquisas de campo, as áreas de ocorrência de SAA (Savana Arbórea

Aberta) na bacia do Cambuí estão concentradas nos terraços fluviais e nas colinas e morrotes situadas na porção sul-sudoeste, em áreas próximas ao Centro de Tecnologia Aeroespacial (CTA) (PROJETO RADAM BRASIL, 1983; MORELLI et al., 2007).

Tais resultados podem ser justificados pela dificuldade em se distinguir as diversas fitofisionomias deste bioma usando as bandas convencionais dos sensores orbitais ópticos, em razão de suas características intrínsecas (SANO et al., 2008). Silva et al. (2008) apresentaram valores com baixa precisão na discriminação das principais fitofisionomias de Cerrado baseados em quatro métodos de classificação supervisionada em imagens ópticas de resolução espacial decimétrica e recomendaram a aplicação de métodos mais robustos de processamento digital de imagens.

Corroborando com os autores supracitados, Dutra (2019) detectou similaridade entre os comportamentos espectrais em vegetações de domínio da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica numa área em formato de ecótono, elucidando a dificuldade no mapeamento nesses terrenos, mesmo com significativas diferenças entre as estruturas fisionômicas dessas formações vegetais.

Observando ainda as Figuras 2a e 2b, foi possível constatar que parte das áreas das classes temáticas pastagem e pasto sujo foram convertidas diretamente para solo exposto, com destaque na porção central da bacia, cujos condicionantes físicos-ambientais (geomorfológicos e hídricos) atuam como limitadores do crescimento urbano. Aspectos estes também destacados por ANDRADE et al. (2019), que ressaltam a existência de grandes áreas vazias.

A análise comparativa dos dados dos anos de 2013 e 2018 demonstrou uma variação de 3,85% para 3,99% para esta classe temática solo exposto, revelando um aumento de 3,50% (6,97 ha) na área total da bacia (Tabela 1). O perfil de conversão dessas classes temáticas, observado através da homogeneidade e delineamento da exposição do solo (Figura 2a e 2b) evidenciou a ocorrência de intervenções antrópicas de forma planejada neste espaço geográfico.

Paralelamente, através dos resultados descritos na Tabela 1, percebeu-se um acréscimo de 215,51 ha na área da classe temática área urbana, representando um incremento na ocupação de 22,20%. Em 2013, esta classe ocupava 18,79% (970,92 ha) da sub-

bacia e passou a ocupar em 2018, 22,96% (1.186,43 ha) da área total. Como pode ser visualizado na Figura 2a e 2b, uma das principais modificações da classe em questão em 2018 consistiu na ocupação de áreas pertencentes no ano de 2013 à classe temática solo exposto, principalmente dentro de um perímetro com adensamento urbano consolidado no setor centro-sudeste da bacia.

Um dos aspectos de inferência para este cenário consiste na implementação de políticas setoriais na região geográfica abrangente da área de estudo pela gestão pública municipal. Tais instrumentos, de ordenamento territorial e infraestrutura, possuem como fundamento o desenvolvimento urbano de determinada região por meio da apropriação regrada de espaços não ocupados com base nas diretrizes do Estatuto da Cidade (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2006).

Neste contexto, o desenvolvimento de complexos viários em determinadas regiões de São José dos Campos, pode ter contribuído com os resultados observados. De acordo com Andrade et al. (2019) as rodovias comportam-se como definidoras de uma organização territorial por direcionarem o processo de ocupação urbano-regional. Os autores mencionados avaliaram que a expansão das ramificações viárias no município indicaram para uma intensa ocupação urbana no sentido sul entre a Rodovia Dutra em direção a Rodovia Carvalho Pinto, condizendo com as conclusões de Stempniak et al. (2007) sobre a significativa influência dessas infraestruturas viárias na indução do crescimento e ocupação urbana na bacia do ribeirão Vidoca.

Por meio da espacialização da classe temática área urbana ilustrada na Figura 2 observou-se uma dinâmica de ocupação territorial na bacia direcionada de grandes manchas urbanas consolidadas nas regiões de vale para os topos de morro, com os novos loteamentos implantados na região (MARTINS, 2009), seguindo, em virtude das características do relevo, a tendência de crescimento urbano no sentido de jusante para montante (TUCCI, 2007).

Segundo Belisário et al. (2015), o acréscimo da impermeabilização do solo e a ocupação irregular de áreas ambientalmente sensíveis (APPs) decorrentes desta dinâmica aumentou, de modo expressivo, a probabilidade e frequência de eventos de alagamentos e inundações em pontos críticos da área de estudo, principalmente nas porções centro-sul. De acordo com dados disponibilizados pela Defesa Civil do município (2019) houve registros de

ocorrências de inundações na bacia do ribeirão Cambuí em todos os anos do intervalo temporal deste estudo.

Com base na Figura 2b, constatou-se que a alta propensão aos eventos naturais nas áreas indicadas, pode estar associada à inobservância das características geotécnicas e morfométricas da bacia de drenagem, no que tange ao planejamento e gestão do território, visto que, tais núcleos urbanos, conforme estudos técnicos realizados por IPT e CPRM (2014) encontram-se consolidadas particularmente em áreas com incidência de suscetibilidade média a processos de inundações, sendo esta classificação passível de alteração consoante o grau de influência da ocupação existente.

A criticidade deste cenário foi apontada por Paula et al. (2011), ao observarem a descontinuidade de matas ciliares ao longo dos cursos d'água da bacia, e indicarem que, de uma área total de 6,03 km² de APPs, 90,25% (5,45 km²) das margens dos rios encontravam-se desflorestadas e, conseqüentemente, em transgressão com a legislação vigente (BRASIL, 2012). Considerando que essas formações vegetais ocupam as áreas mais sensíveis e dinâmicas da paisagem, em termos hidrológicos, ecológicos e geomorfológicos (LIMA; ZAKIA, 2000), o desenvolvimento de um processo de uso e ocupação do solo indutor da conservação e revitalização de APPs é fundamental para se evitar o aumento de áreas perturbadas na bacia e reduzir o risco de desastres naturais em trechos urbanos mais frágeis a eventos extremos (PAULA et al., 2011; COUTINHO et al., 2013).

Observando a Tabela 1, verificou-se que no primeiro ano analisado, em 2013, a classe temática mata/capoeira cobria uma área de 759,42 ha, o que compreendia a 14,70% da área total da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cambuí. Ao se comparar os dados na série temporal escolhida, constatou-se um decremento de 7,04%, correspondendo à uma redução de 53,50 ha em área. Através da Figura 2, foi possível visualizar no ano de 2018 um quadro semelhante ao apontado por Paula et al. (2011) em relação à desconfiguração da vegetação de FESA (Floresta Estacional Semidecidual Aluvial) nas áreas marginais a rede de drenagem no perímetro urbano. No entanto, observou-se, de modo oposto, a expansão de áreas de FESMar na divisa com o município de Jacareí e a manutenção da vegetação nas cabeceiras de drenagem, em linhas de cumeada no setor sul da bacia (APA mananciais do rio Paraíba do Sul e Serra do Jambeiro).

A conservação, em maior grau, de remanescentes de Mata Atlântica nesta porção do território pode ser explicada, segundo Zuquim (2007), por sua desvinculação econômica e social da rede urbana industrial, por causa do isolamento geográfico. Ao compararem imagens de satélite dos anos de 1985 e 2015, Ronquim et al. (2016) observaram um acréscimo de 205.690 ha nos terrenos cobertos por vegetação nativa na UGRHI 02, correspondendo a um aumento de 83% nas áreas com cobertura de florestas nativas.

Os resultados apontados podem ter relação com a ocorrência do fenômeno de transição florestal em regiões do estado de São Paulo, identificado por Farinaci (2012). A autora observou no município de São José dos Campos, assim como em outros municípios estudados, a propensão à persistência e regeneração das matas nativas em áreas de pastagem abandonadas, em terrenos mais íngremes (dificuldade de acesso), e nas vertentes orientadas ao sul, em decorrência da exposição diferenciada à radiação solar.

Tendo em vista a fragilidade ambiental dos terrenos situados à montante da Rodovia SP-70, pela associação entre o alto potencial de riscos geológicos e a vasta rede hidrográfica, quaisquer atividades desenvolvidas nessa região possuem a capacidade de impactar a questão hídrica municipal (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2006).

Em relação à classe temática reflorestamento, ao se comparar os dados quantitativos dos anos de 2013 e 2018 (Tabela 1) observou-se uma queda de 10,32% nos valores de áreas pertencentes à essa classe, totalizando uma redução de 7,89 hectares. No primeiro ano esta classe ocupava 1,48% (76,47 ha) da bacia e passou a ocupar em 2018 1,33% (68,58 ha) da área total desta. Notou-se por meio da configuração espacial do uso e cobertura da terra (Figura 2), que a retração em áreas cobertas por plantios de eucalipto (Figura 2), ocorreu predominantemente na porção territorial a qual se registrou a expansão de áreas cobertas por floresta nativa. De forma contrária, foi observado o aumento em área desta categoria no setor centro-sul da área de estudo. Essa ocorrência pode ser justificada pelo crescimento do cultivo da espécie para atender à indústria madeireira com concessão de exploração da atividade na área.

Com a finalidade de se verificar a consistência dos dados obtidos por esse trabalho, em relação à estimativa das áreas com reflorestamento na bacia do ribeirão Cambuí no intervalo temporal analisado, foi realizada uma consulta às edições do Levantamentos de Unidades de

Produção Agropecuárias do Estado de São Paulo (LUPA). A análise comparativa entre os anos de 2007/2008 e 2016/2017 referente aos dados de estatísticas agrícolas do município de São José dos Campos apresentou um decréscimo de 3,26%, o que contabilizou 453 ha de redução de áreas plantadas com eucalipto (13.886,2 hectares para 13.433,2 hectares) (SÃO PAULO, 2009, 2019). Embora os resultados dos trabalhos analisados demonstraram grandes diferenças entre os respectivos dados, por conta da aplicação de metodologias de estimativa de áreas diferenciadas, a comparação dos valores indicou a queda nas áreas com o cultivo dessa espécie em ambos os estudos.

As áreas ocupadas pela classe temática corpo d'água no ano de 2013 e 2018 apresentaram estabilidade em seus valores, correspondendo a uma área de 9,72 ha (0,19%) e 9,63 ha (0,19%) da área de estudo. De acordo com Fernandes et al. (2015), variações nos valores dessa classe podem ocorrer de acordo com o volume de precipitações pluviométricas ocorridas a cada ano e, eventualmente, com novos represamentos de cursos de água. Santos e Piroli (2015) apontaram, em um intervalo temporal de 36 anos, um aumento de 198,64 ha no tamanho da área da classe represamentos, relacionando essa alteração à construção de uma barragem na foz do ribeirão do Rebojo, no estado de São Paulo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da técnica de detecção de mudanças do uso e cobertura da terra através da utilização de softwares livres e de cenas orbitais da série Landsat, disponibilizadas de forma gratuita, permitiu o conhecimento sobre as modificações na paisagem da área de estudo, assim como sua representação cartográfica através de mapas temáticos, sem nenhum ônus financeiro.

Uma das principais alterações registradas no período de análise foi a expansão de áreas com exposição do solo no ano de 2018, atribuída, provavelmente, à execução das políticas setoriais voltadas à integração de infraestruturas de mobilidade urbana no município e ao ordenamento territorial na região geográfica abrangente da bacia. Observou-se, de modo similar, um expressivo aumento em área da classe temática área urbana, majoritariamente na porção central da área de estudo, indicando um forte processo de expansão urbana. Tais dados revelaram um quadro preocupante, permitindo inferir a tendência de crescimento

urbano na bacia e a possível influência em suas funções ecossistêmicas, visto o grau de adensamento urbano em setores com alta sensibilidade ambiental e criticidade na drenagem.

Embora tenha sofrido acréscimo nas intervenções antrópicas em sua área, os resultados obtidos demonstraram a predominância de áreas cobertas por pastagem e pasto sujo na sub-bacia do ribeirão Cambuí, refletindo o processo histórico de atividades econômicas a qual a região do Vale do Paraíba foi submetida. No entanto, cabe ressaltar o comprometimento dos números relacionados à classe temática pasto sujo pela aplicação da classificação supervisionada adotada. A superestimativa destes valores pode influenciar outras análises complementares, recomendando-se, conforme a literatura, o emprego de técnicas mais sofisticadas para avaliação da dinâmica entre classes temáticas formadas por vegetações para refino dos resultados.

Por fim, ressalta-se a importância da continuação dos estudos para monitoramento ambiental da área de estudo, dada a fragilidade ambiental da bacia e os impactos que a acentuação das transformações em sua paisagem pode causar à população.

5. AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Tecnologia de Jacareí – FATEC Professor Francisco de Moura pela disponibilização da infraestrutura do Laboratório de Geoprocessamento e Fotogrametria da instituição.

Ao Prof. MSc. Luiz Sérgio Gonçalves Aguiar e ao Prof. Dr. Nilton de Jesus pela contribuição ativa no desenvolvimento deste estudo.

Ao Tecnólogo Mateus Oliveira Estiliano, técnico responsável pelo Laboratório de Geoprocessamento e Fotogrametria da Faculdade de Tecnologia de Jacareí durante o desenvolvimento da investigação, pelo suporte técnico em relação à utilização do *software* QGis 2.12.3 – Lyon.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v. 1, n. 41, p. 197-273, 1964.

ANDERSON, L. O. *et al.* Mapeamento da cobertura da terra do estado do Mato Grosso

através da utilização de dados multi-temporais do sensor Modis. **Geografia**, Rio Claro, v. 30, n. 2, p. 365-380, mai./ago. 2005. Disponível em: mtc-m16b.sid.inpe.br/col.sid.inpe.br/iria@1915/2006/01.16.12.48/doc/mapeamento.anderson.pdf. Acesso em: 22 set. 2019.

ANDRADE, D. J. de. *et al.* Análise temporal da expansão urbana nos municípios do Vale do Paraíba Paulista. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, e18005, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/mercator/v18/1984-2201-mercator-18-e18005.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2020.

BELISÁRIO, P. R. *et al.* Análise da dinâmica de uso e ocupação do solo e suas implicações com o zoneamento do solo urbano na bacia do ribeirão Cambuí, São José dos Campos - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6320-6327. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP6W34M/3JM4HNN>. Acesso em: 17 jul. 2019.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-27, 1971.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 27 mai. 2019.

CÂMARA, G. *et al.* SPRING: integrating remote sensing and GIS with object oriented data modelling. **Computers and Graphics**, Dordrecht, v. 15, n. 6, p. 13-22, 1996.

CAVALHEIRO, F.; ANDRADE, L. S. L. A. Ecologia urbana: o planejamento e o ambiente alterado das cidades. **Revista do serviço público**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 109-112, 1983. DOI: <https://dx.doi.org/10.21874/rsp.v40i4.2152>. Disponível em: revista.enap.gov.br/index.php/RSP/issue/view/125. Acesso em: 22 set. 2019.

COUTINHO, M. P. *et al.* O Código Florestal atual (Lei Federal nº 12.651/2012) e suas implicações na prevenção de desastres naturais. **Sustentabilidade em Debate**, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 237-256, 2013.

DATAGEO (São Paulo). **Base de dados**. 2019. Disponível em: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em: 17 jul. 2019.

DUTRA, A. C. **Mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal do estado da Bahia utilizando dados multitemporais de sensores ópticos orbitais**. 2019. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

FARINACI, J. S. **As novas matas do estado de São Paulo: um estudo multiescalar sob a perspectiva da teoria da transição florestal**. 2012. Tese (Doutorado em Ambiente e Sociedade) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <http://pct.capes.gov.br/teses/2012/33003017082P2/TES.PDF>. Acesso em: 01 abr. 2020.

FERNANDES, M. R. M. *et al.* Mudanças do uso e de cobertura da terra na região Semiárida de Sergipe. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.121514>.

FORMAN, R. T. T.; COLLINGE, S. K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscapes and Urban Planning**, [s.l.], v. 37, p. 129-135, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama de São José dos Campos 2018**. Rio de Janeiro: IBGE: 2018. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-dos-campos/panorama>. Acesso em: 29 set. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA, ADMINISTRAÇÃO E PLANEJAMENTO – IPPLAN. **Plano de Desenvolvimento Rural Sustentável**. 1. ed. São Carlos: Cubo, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo) – IPT.; COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de São José dos Campos – SP**. São Paulo, 2014.

KURKDJIAN, M. L. N. O. *et al.* **Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos, INPE, 1992 (INPE-5381-PRP/165).

LAMBIN, F. E. *et al.* The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, [s.l.], v. 11, p. 261-269, 2001.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v.4, n.12, p. 90-106, 2012. Disponível em: observatorium.ig.ufu.br/pdfs/4edicao/n12/05.pdf. Acesso em: 26 fev. 2020.

LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Tradução: Lúcia Mathilde Endlich Orth. 11. ed. Petrópolis: Vozes, 2001

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (orgs.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

LU, D. *et al.* Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 25, n. 12, p. 2365-2407, 2004. Disponível em: <http://doi.org/10.1080/0143116031000139863>. Acesso em: 02 ago. 2019.

MARTINS, D. **Aplicação de técnicas alternativas na mitigação de inundações na Bacia do Ribeirão dos Putins**. 2009. Tese (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009.

MORAN, E, F. **Nós e a natureza: uma introdução às relações homem-ambiente**. Tradução: Carlos Szlak. 1. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008.

MORELLI, A. F. **Identificação e transformação das unidades da paisagem no município de São José dos Campos (SP) de 1500 a 2000**. 2002. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2002.

MORELLI, A. F. *et al.* **Atlas ambiental de São José dos Campos**. São José dos Campos: Fundação Cultural Cassiano Ricardo, 2007.

NIEMANN, R. S. **Levantamento do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso da Microbacia do Ribeirão Putim**. Relatório de trabalho desenvolvido na disciplina de Introdução ao Geoprocessamento do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São José dos Campos: Blucher, 2010.

PANTOJA, N. V. *et al.* Detecção de mudanças a partir de imagens TM/Landsat na Amazônia Sul Ocidental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6037-6044. Disponível em: marte.sid.inpe.br/col.dpi.br/sbsr%4080/2008/11.16.17.55/doc/6037-6044.pdf. Acesso em: 02 ago. 2019.

PAULA, M. B. *et al.* Diagnóstico ambiental de áreas de preservação permanente na microbacia do ribeirão Putim. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE. 2011. p. 1373-1380. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.15.14.36/doc/p1377.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2019.

PERROTA, M. M. *et al.* **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2005. 1 mapa, color. Escala 1:750.000.

PROJETO RADAM BRASIL. **Folhas 23/24. Rio de Janeiro/Vitória.** 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

REGEA – GEOLOGIA, ENGENHARIA E ESTUDOS AMBIENTAIS. **Revisão e atualização do Plano de Bacias da UGRHI 02:** Síntese do Plano de Bacia, 2016.

RONQUIM, C. C. *et al.* **Carbon sequestration associated to the land-use and land-cover changes in the forestry sector in Southern Brazil.** Proc. of. SPIE., [s.l.], v. 9998, 2016.
Disponível em: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org>. Acesso em: 30 mar. 2020.

ROSAN, T. M.; ALCANTARA, E. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Mato-grossense: o estudo de caso do município de Cláudia - MT. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 68, v. 5, p. 979-990, 2016. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44430/23505>. Acesso em: 26 mai. 2019.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2007, p. 4209-4216. Disponível em: martem.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.15.14/doc/4209-4216.pdf. Acesso em: 18 jul. 2019.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

SANO, E. E. *et al.* Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANTOS, E. P.; PIROLI, L. E. Detecção de mudanças no uso e cobertura da terra utilizando Land Change Modeler: o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo, Pontal do Paranapanema, SP, Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 1391-1398. Disponível em: dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0258.pdf. Acesso em: 20 abr. 2019.

SANTOS, L. A. C.; LIMA, P. E. M. Comparação entre diferentes algoritmos de classificação supervisionada em imagens Landsat-8 no mapeamento temático da bacia hidrográfica do rio Caldas – Goiás. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 3, p. 961-972, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Lei Complementar nº 306, de 17 de novembro de 2006.** Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI). São José dos Campos: Câmara Municipal, [2006]. Disponível em: <http://servicos2.sjc.sp.gov.br/legislacao/Leis%20Complementares/2006/306.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado: seção 1, São Paulo, SP, p. 221, 1977. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755-22.11.1977.html>. Acesso em: 27 mai. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Instituto de Economia Agrícola. Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável. **Projeto LUPA 2007/2008; 2016/17: Censo Agropecuário do Estado de São Paulo**. São Paulo: SAA: IEA: CDRS, 2009, 2019. Disponível em: <http://www.cdrs.sp.gov.br/projetolupa/>. Acesso em: 17 mai. 2020.

SILVA, G. B. *et al.* Análise comparativa de quatro métodos de classificação supervisionada para a discriminação de fitofisionomias de Cerrado. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 12, n. 1, p. 3935-3947, 2008.

SINGH, A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/01431168908903939>. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431168908903939>. Acesso em: 02 ago. 2019.

STEMPNIAK, A. *et al.* Avaliação da transformação da paisagem na bacia do ribeirão Vidoca, São José dos Campos, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 83-97, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.35>.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007.

USGS. **Catálogo de imagens orbitais**. Imagens Landsat 2013 e 2018. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 07 out. 2019.

ZUQUIM, M. de L. **Os caminhos do rural: uma questão agrária e ambiental**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

“Os autores declaram estar cientes quanto a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.”