

## MUDANÇA DA COBERTURA DO SOLO EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL COM A UTILIZAÇÃO DO *LAND CHANGE MODELER*

Allita Rezende dos Santos <sup>1</sup>, Camila Aparecida de Menezes <sup>2</sup>, Leonardo Campos de Assis <sup>3</sup>,  
Frederico Fábio Mauad <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, allita@usp.br; <sup>2</sup>Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, camilaapmenezes@usp.br; <sup>3</sup>Instituto de Ciências e Tecnologia do Ambiente, Universidade de Uberaba, Av. Nenê Sabino, 1801, Bairro Universitário, CEP 38055-500, Uberaba, MG, leonardo.assis@uniube.br; e <sup>4</sup> Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos, SP, mauadffm@sc.usp.br

### RESUMO

As alterações ambientais provenientes das atividades antrópicas promovem, dentre outros impactos, a erosão do solo, comprometendo por consequência a qualidade da água nos corpos hídricos, dessa forma devem ser amplamente estudadas. O objetivo deste estudo foi analisar as mudanças ocorridas na cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, entre os anos de 2011 e 2017, utilizando classificação supervisionada de imagens e o *Land Change Modeler*. Os resultados demonstraram perda de áreas agrícolas (-4%) e de pastagem (-16%), e o aumento de áreas antropizadas (+9%), e de vegetação nativa (+11%). As classes que sofreram as principais alterações foram a pastagem e a vegetação nativa, respectivamente. A partir disso, é possível verificar em quais classes de uso e ocupação do solo deve-se priorizar a fiscalização, o controle ambiental e melhorar a aplicação das normas ambientais a fim de manter o estado de conservação e preservação.

**Palavras-chave** — geoprocessamento, SIG, recursos hídricos, conservação ambiental, uso e ocupação do solo.

### ABSTRACT

*The environmental changes from human activities promote, among other impacts, soil erosion, eventually endangering the water bodies. Thus, they should be studied. The objective of this study was to analyze the changes in land cover in the Environmental Protection Area of Uberaba River Watershed, between the years 2011 and 2017, using supervised classification of images and the Land Change Modeler. The results showed loss of the agricultural areas (4%) and pasture (16%), and showed gain of the anthropic areas (9%) and native vegetation (11%). The classes that suffered the main changes were the pastures and the native vegetation, respectively. From this, it is possible to verify in which classes of land use and occupation should prioritize inspection, environmental control and improve the*

*application of environmental standards in order to maintain the state of conservation and preservation.*

**Key words** — *geoprocessing, GIS, water resources, environmental conservation, land use and occupation.*

### 1. INTRODUÇÃO

As alterações ambientais ocorridas no processo de antropização em uma região, modificam áreas de conservação e atribuem características aos usos e ocupações do solo, que promovem dentre outros impactos, a erosão do solo [1]. O carregamento das partículas erodidas pela ação da chuva, acaba por depositá-las nos corpos hídricos causando o assoreamento, comprometendo a qualidade e a disponibilidade da água e reduzindo o volume útil dos rios, lagos e reservatórios [2].

Diante do exposto, a qualidade dos ambientes aquáticos e as influências das alterações ambientais provenientes de atividades humanas devem ser estudadas. No entanto, monitorar, analisar e quantificar as mudanças na cobertura do solo, requer uma grande quantidade de dados. As tecnologias de sensoriamento remoto (SR) [3], aliadas às análises espaciais que utilizam os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como *Land Change Modeler* [4], o modelo de Regressão Logística [5], e as Redes Neurais Artificiais [6], são ferramentas vantajosas no auxílio às tomadas de decisões no gerenciamento dos recursos naturais [1].

O *Land Change Modeler* (LCM) é um ambiente integrado e orientado ao problema de mudanças na cobertura do solo com alterações aceleradas e análises de conservação [7], avaliação da mudança do habitat, da biodiversidade, de impactos negativos e planejamento de intervenções ambientais [8]. Além disso, é possível obter de forma quantitativa as perdas, ganhos e persistências para cada classe de uso e ocupação do solo que se encontra na região em estudo [3].

Dessa forma, este artigo tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos na análise das mudanças ocorridas na

cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental (APA) da bacia hidrográfica do Rio Uberaba (RU), Uberaba - MG. Foram identificados e quantificados os processos de alterações do uso e ocupação do solo por meio de análise espaço-temporal, nos anos de 2011 e 2017, utilizando o modelo LCM.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a APA da bacia hidrográfica do rio Uberaba (Figura 1), localizada entre as coordenadas de latitude 19°30'S e 19°45'S e longitude 47°38'O e 48°00'O. Situa-se na região sudeste do Brasil no município de Uberaba, estado de Minas Gerais, à montante do ponto de captação de águas que abastecem a cidade e compreende aproximadamente 8% de área urbana [9].

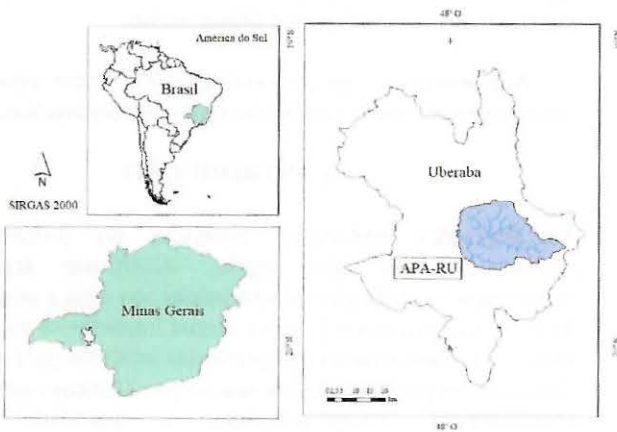


Figura 1. Localização da área de estudo.

As coberturas do solo da área de estudo foram elaboradas a partir da técnica de processamento e classificação de imagens supervisionada (algoritmo *maximum likelihood*) [1-3] para as datas 15/06/2011 e 03/09/2017. As imagens utilizadas são dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, respectivamente, nas bandas dos sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Operational Land Imager* (OLI), da órbita 220 e ponto 74, fornecidas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O sistema de referência usado no processamento das imagens foi SIRGAS 2000 UTM no fuso 23 Sul.

A mudança da cobertura do solo para o período de 6 anos foi explorada por meio da funcionalidade de análise de alterações, bem como as perdas, persistências e ganhos de classes de cobertura do solo do *Land Change Modeler* (LCM) [7-8], disponível no *software* IDRISI Selva.

## 3. RESULTADOS

Na Tabela 1, apresentam-se as classes de cobertura do solo, áreas de ocupação e percentual de variação entre os anos de 2011 e 2017, identificados para a APA-RU. As classes de uso

e ocupação do solo encontradas são a área antropizada, a pastagem, a vegetação nativa e a área agrícola.

Tabela 1. Uso e ocupação do solo nos anos de 2011 e 2017.

Classe	2011		2017		Variação
	Área (ha)	Percentual	Área (ha)	Percentual	
Área antropizada	3.736,9	8%	8.273,1	17%	9%
Pastagem	24.706,1	50%	16.808,4	34%	-16%
Vegetação nativa	10.264,9	21%	15.475,2	31%	11%
Área agrícola	10.695,5	22%	8.846,7	18%	-4%

As classes de cobertura do solo que perderam áreas foram a ocupação agrícola (4%) e pastagem (16%) com a principal modificação identificada, atualmente, estas classes ocupam respectivamente, 18% e 34% da área total em estudo. Houveram ganhos de 9% e 11% para a área antropizada e a vegetação nativa, respectivamente. No Gráfico 1, apresentam-se as principais contribuições para o aumento da área antropizada em hectares.

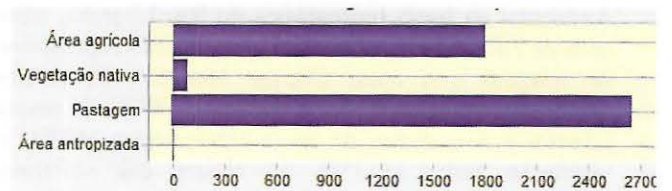


Gráfico 1. Contribuições para o aumento da área antropizada.

Percebe-se que áreas antes destinadas à agropecuária alteraram seu uso para área antropizada (Gráfico 1). Em parte, esta característica justifica-se pelo valor agregado superior de empreendimentos imobiliários em relação a empreendimentos agrícolas. A classe de uso do solo denominada como área antropizada compreende-se em perímetro urbano e solo exposto. Nessa época do ano para a região em estudo, muitas das áreas agrícolas passam por preparo do solo antes do plantio que ocorre pouco antes do período chuvoso (outubro-março), possibilitando a sua contribuição para o aumento da área antropizada. No entanto, na Figura 2, nota-se ganho no perímetro urbano da cidade que compreende a APA-RU.

Além das áreas ocupadas por pastagem, a classe de vegetação nativa (Figura 3) foi a que mais se mostrou modificada na área de estudo, com um aumento de mais de 15 ha, passando a ocupar aproximadamente 31% da área total, em 2017. Juntas, as duas classes ocupam atualmente mais da metade da área total em estudo. No mapa da Figura 3, nota-se que a expansão da classe de vegetação nativa ocorreu principalmente nas áreas de proteção permanente, incluindo as áreas de nascente.

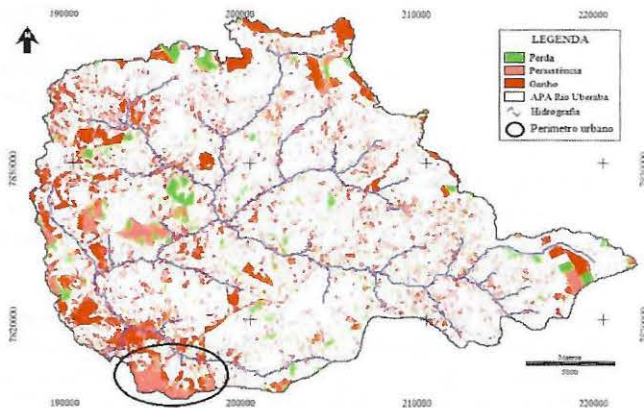


Figura 2. Mapa da perda, persistência e ganho de área antropizada.

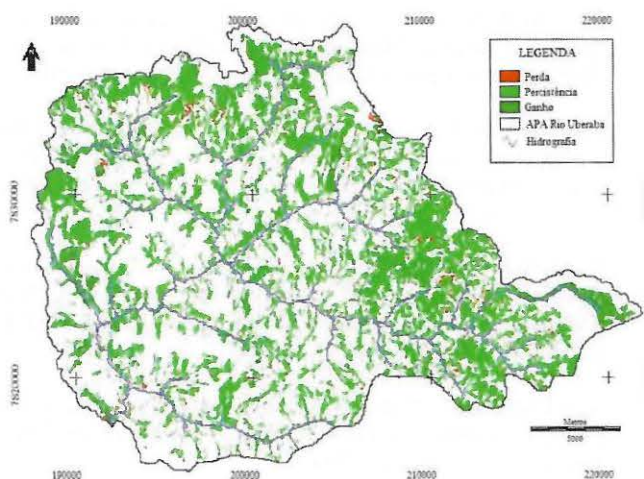


Figura 3. Mapa da perda, persistência e ganho de vegetação nativa.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados provenientes das análises de mudanças na cobertura do solo da APA-RU fornecem informações quantitativas das transições ocorridas no período estudado, sendo demonstradas as perdas, ganhos e persistências dos tipos de ocupações e atividades desenvolvidas na região. No entanto, é importante ressaltar que a mesma classe de cobertura do solo pode mudar quando perde áreas para outro tipo de classe mas também pode ganhar território de outras classes [1].

O rio Uberaba é a principal fonte de abastecimento público de água para o município do qual faz parte e para as atividades desenvolvidas na delimitação da APA-RU, e segundo o último Plano de Manejo (2012) [9], apresenta o sério agravante de não suprir a cota de abastecimento necessário no período da seca. Nesse caso, o aumento de 9% da área antropizada pode causar impactos negativos e agravar ainda mais a qualidade e quantidade de águas disponíveis no corpo hídrico. Próximo ao ponto de captação de água algumas

mudanças antrópicas foram observadas na região, como uma pequena linha de mata ciliar e a deposição de resíduos em alguns pontos da floresta, pequenas propriedades no entorno que muitas vezes têm fossas convencionais e animais de criação perto do rio [10].

O aumento do perímetro urbano no período analisado demonstra a constante expansão demográfica nas delimitações da APA-RU. Em contrapartida, no ano de 2017, foi instituído o Plano Diretor de Zoneamento do Perímetro Urbano da APA-RU visando estabelecer condições para que o uso e ocupação do solo seja realizado de forma sustentável. Caracterizada como setor especial e diferenciado do município em relação a proteção da biodiversidade, garante a qualidade e a quantidade das águas no ponto de captação, uso múltiplo e manejo das águas da bacia [11].

As áreas antropizadas nas regiões próximas ao divisor de águas são provenientes do setor agrícola, predominantes nas áreas adjacentes e externas à delimitação APA-RU. Isso demonstra a importância da gestão adequada no que tange o objetivo da criação da Unidade de Conservação de Uso Sustentável, realizada no ano de 2005 a fim de disciplinar a ocupação humanas [12]. No entanto, é imprescindível a atualização do Plano de Manejo da APA-RU para as mudanças e alterações ambientais que ocorram no futuro, não venham a prejudicar o estado de conservação em que se encontra atualmente.

As áreas mais propensas a processos erosivos possuem características de declividade maior que 20%, solos arenosos junto ao uso e ocupação do solo como pastagens e áreas agrícolas, e isso faz com que haja ocorrência de acúmulo de material (seixos e areia) no leito do rio Uberaba, principalmente nas regiões de nascentes [9]. Dessa forma, o aumento de 11% ocorrido na área ocupada pela vegetação nativa, abrangendo atualmente mais de 30% da área total em estudo, minimiza os impactos negativos que afetam os corpos hídricos, principalmente quando se trata das matas ciliares que acabam por controlar a entrada de contaminantes tóxicos nos rios [13].

O aumento da área ocupada por vegetação nativa é imprescindível para a conservação e preservação ambiental da APA-RU. Esse aumento pode estar relacionado com as mudanças ocorridas a partir do convênio de cooperação administrativa e técnica realizado entre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais e a Prefeitura de Uberaba. A partir do ano de 2012, o gerenciamento do licenciamento, controle e fiscalização ambiental de atividades com impacto local no âmbito do município foi passado à atual Secretaria de Meio Ambiente (SEMAM) [14]. Para isso, a secretaria formou corpo técnico especializado à fiscalização e controle de atividades que utilizam os recursos naturais pelo município, o que antes era realizado pela Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, com abrangência de 67 municípios, inviabilizando a eficiência na aplicação das normas ambientais. Além disso, a área conta

com um Comitê Gestor que exerce o controle social das atividades antrópicas na busca pelo uso sustentável.

Assim como nos estudos de Hamad et al. [15], Mishra et al. [4] e Mishra e Rai [3] realizados na Índia e no Iraque, os resultados obtidos neste estudo como as perdas, a persistência e os ganhos identificados para as atividades de pastagem, áreas agrícolas, áreas antropizadas e vegetação nativa fornecem a compreensão sobre a quantidade e localização de mudanças. Dessa forma, também é possível avaliar as tendências das mudanças e realizar previsões possibilitando a melhoria de aplicações da legislação ambiental e do controle urbano na APA-RU.

## 5. CONCLUSÕES

A análise das mudanças ocorridas na cobertura do solo da APA-RU possibilitou verificar as perdas, persistências e ganhos para cada classe, de forma quantitativa. Houveram aumentos de áreas antropizadas e ocupadas por vegetação nativa e perdas de áreas agrícolas e de pastagem. As alterações ocorridas podem acarretar na melhoria da qualidade ambiental na região em estudo.

O *Land Change Modeler* foi satisfatório na verificação das perdas, persistências e ganhos dos usos e ocupações do solo na APA-RU. A partir deste estudo, ainda podem ser elaborados prognósticos para a obtenção de cenários futuros a partir das tendências das mudanças encontradas na cobertura do solo no período analisado. Adicionalmente, o Plano de Manejo da unidade de conservação e o Comitê Gestor podem se beneficiar com as considerações dos resultados obtidos neste estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] CALIJURI, M. L.; CASTRO, J.S.; COSTA, L.S.; ASSEMAN, P.P.; ALVES, J.E.M. Impact of land use/land cover changes on water quality and hydrological behavior of an agricultural subwatershed. *Environmental Earth Sciences*, v. 74, n. 6, pp. 5373–5382, 1 set. 2015.
- [2] TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. *Ecohydrology & Hydrobiology, New Challenges and Dimensions of Ecohydrology*, v. 16, n. 2, pp. 83–91, 1 maio 2016.
- [3] MISHRA, V.N.; RAI, P.K. A remote sensing aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), *India. Arabian Journal of Geosciences*, v. 9, n. 4, pp. 249, 24 mar. 2016.
- [4] MISHRA, V.N.; RAI, P.K.; PRASAD, R.; PUNIA, M.; NISTOR, M.M. Prediction of spatio-temporal land use/land cover dynamics in rapidly developing Varanasi district of Uttar Pradesh, India, using geospatial approach: a comparison of hybrid models. *Applied Geomatics*, v. 10, n. 3, pp. 257–276, 1 set. 2018.
- [5] ALSHARIF, A. A. A.; PRADHAN, B. Urban Sprawl Analysis of Tripoli Metropolitan City (Libya) Using Remote Sensing Data and Multivariate Logistic Regression Model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 42, n. 1, pp. 149–163, 1 mar. 2014.
- [6] MOZUMDER, C.; TRIPATHI, N. K. Geospatial scenario based modelling of urban and agricultural intrusions in Ramsar wetland Deepor Beel in Northeast India using a multi-layer perceptron neural network. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 32, pp. 92–104, 1 out. 2014.
- [7] CHEN, D.; LI, J.; ZHOU, Z.; LIU, Y.; LI, T.; LIU, J. Simulating and mapping the spatial and seasonal effects of future climate and land -use changes on ecosystem services in the Yanhe watershed, China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 2, pp. 1115–1131, 1 jan. 2018.
- [8] EASTMAN, J. IDRISI Selva Manual. 17. ed. Clarck University: Worcester, pp. 322, 2012.
- [9] UBERABA, P.M. Plano de Manejo Emergencial - Área de Proteção Ambiental Municipal do Rio Uberaba. Secretaria de Meio Ambiente e Turismo, Uberaba: Minas Gerais, pp. 153, 2012.
- [10] CURADO, A.L.; OLIVEIRA, C.C.; COSTA, W.R.; ANHÊ, A.C.B.M.; SENHUK, A.P.M.S. Urban influence on the water quality of the Uberaba River basin: an ecotoxicological assessment. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 1, pp. 10, 2018.
- [11] UBERABA, C.M. Lei Complementar nº 561. Institui o Plano Diretor de Zoneamento do Perímetro Urbano da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - APA Rio Uberaba e dá outras providências. 2017.
- [12] UBERABA, C.M. Lei Municipal nº 9.892. Cria a Área de Proteção Ambiental Municipal de Uberaba - APA do Rio Uberaba - e dá outras providências. 2005.
- [13] TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil. *Freshwater Reviews*, v. 6, n. 2, pp. 75–91, 2014.
- [14] UBERABA, P.M. Estado autoriza Prefeitura de Uberaba a fazer licenciamento ambiental de novas atividades. Uberaba, 2012 Disponível em: <<http://uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,24734>>. Acesso em: 7 out. 2018.
- [15] HAMAD, R.; BALZTER, H.; KOLO, K. Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model under Two Different Scenarios. *Sustainability*, v. 10, n. 10, pp. 3421, 25 set. 2018.