

## **AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ E SIMULAÇÃO PARA 2027**

*LAND USE EVALUATION IN ITAJAÍ RIVER WATERSHED AND SIMULATION FOR 2027*

**Christian Milanez PREIS, Davide FRANCO, Sophia Cavalcante VARELA**

Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Engenheiro Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis – SC.  
E-mails: christianpreis@gmail.com; d.franco.ocean@gmail.com; sophiacvarela@gmail.com

Introdução  
Área de estudo  
Metodologia  
Mapas de uso do solo  
Comparação entre os mapas  
Projeção para o uso e ocupação do solo  
Resultados e discussões  
Evolução do uso do solo  
Projeção para 2027  
Calibração do modelo  
Simulação do mapa de 2027  
Conclusões  
Referências

**RESUMO** - A característica do uso do solo, o estado de regeneração das florestas e as práticas das atividades econômicas locais – principalmente as práticas agrícolas – influenciam diretamente na qualidade e na quantidade de água em uma bacia hidrográfica. O objetivo deste estudo é apresentar uma avaliação da evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Itajaí, que possui uma área total de aproximadamente 15 km<sup>2</sup>, e é uma das mais importantes do estado de Santa Catarina. Foram avaliados mapas de uso do solo dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2015, obtidos por meio do projeto MapBiomias. A partir da avaliação da evolução do uso do solo, com o auxílio do *software* TerrSet, antigo IDRISI, foi simulado um mapa de uso do solo para o ano de 2027. Os resultados indicaram que a área total de silvicultura, principal atividade causadora de desmatamento na bacia, terá um crescimento de 48,1%, enquanto que a área total de florestas naturais terá uma redução de 13,2%. Estima-se que, em 2027, apenas 55% da área total da bacia seja de florestas naturais. Em 1990, este valor era de 67%.

**Palavras-chave:** Alterações de uso e ocupação do solo. Modelagem de uso e ocupação do solo. TerrSet.

**ABSTRACT** - Land use characteristics, forest regeneration stages and local economic practices – mainly agricultural – influence directly the quality and quantity of water within watersheds. The objective of this research is to evaluate land use changes in the Itajaí river watershed, which has an area of approximately 15 km<sup>2</sup>, and represents one of the most important watersheds in the state of Santa Catarina. Land use maps from the years 1990, 2000, 2010 and 2015, obtained from the MapBiomias project, were evaluated in this research. After evaluating the land use changes in the watershed, a land use map for the year 2027 was simulated using the software TerrSet, former IDRISI. The results indicate an increase of 48,1% in the planted forest area, being the biggest responsible for the reduction of 13,2% in the natural forest area. It is estimated that, by 2027, only 55% of the watershed surface will be covered by natural forests. In 1990, this value was 67%.

**Keywords:** Land use changes. Land use modelling. TerrSet.

### **INTRODUÇÃO**

Diversos estudos ao redor do mundo indicam que o uso do solo é um fator que interfere na disponibilidade de água de uma bacia hidrográfica (Blainski et al., 2011, 2017; Ghaffari et al., 2010; Rodrigues et al., 2015; Zhang et al., 2017). A característica do uso do solo, o estado de regeneração das florestas e as práticas das atividades econômicas locais – principalmente as práticas agrícolas – influenciam diretamente na qualidade e na quantidade de água em uma bacia hidrográfica (Egler et al., 2012). Portanto, é de grande importância a avaliação da evolução do uso e ocupação do solo para um adequado planejamento do uso de recursos hídricos.

Devido a esta ligação direta entre os cursos

d'água e o uso e ocupação do solo, as atividades antrópicas têm impacto direto na qualidade e na quantidade de água das bacias. Os cursos d'água estão entre os ecossistemas mais afetados pelas atividades humanas (Dudgeon et al., 2006; Malmqvist & Rundle, 2002). Dentre as ações antrópicas que mais impactam na qualidade e na quantidade de água nas bacias hidrográficas, destacam-se o desmatamento, o assoreamento, a poluição das águas em função de efluentes industriais, urbanos e agrícolas, as alterações físicas do leito dos rios, a construção de barragens e a captação de água para usos consuntivos (Egler, 2012). Estas ações, que estão geralmente conectadas, apresentando uma

sinergia com o uso e ocupação do solo, que normalmente não é planejado adequadamente. Com relação a impactos na disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica, destacam-se o desmatamento, a implantação de silvicultura e a urbanização, que podem reduzir a vazão mínima e aumentar a vazão máxima dos cursos d'água, principalmente em função da redução da infiltração de água no solo e aumento do escoamento superficial (Tucci, 2005).

Este estudo teve como objetivo identificar como ocorreu a evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Itajaí, uma das mais importantes do estado de Santa Catarina, Brasil, e simular uma projeção para o ano de 2027. A escolha do ano de simulação foi embasada na projeção futura de uso das águas na bacia, contida no Plano Estadual de Recursos Hídricos, principal documento de diretrizes da gestão de recursos hídricos no estado de Santa Catarina.

#### Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itajaí localiza-se na região norte do estado de Santa Catarina, no

sul do Brasil.

Os seus divisores de água encontram-se a Oeste na Serra Geral e na Serra do Espigão, ao Sul na Serra da Boa Vista, na Serra dos Faxinais e na Serra do Tijucas, e ao Norte na Serra da Moema.

Na figura 1 é apresentada a localização da bacia hidrográfica do rio Itajaí.

Os principais cursos d'água da bacia têm suas nascentes na Serra Geral, na elevação 1.000 m. O rio Itajaí-Açu, mais importante da bacia, percorre cerca de 200 km desde a cidade de Rio do Sul, onde assume este nome, até sua foz no oceano, junto às sedes dos municípios de Itajaí e Navegantes. (SDM, 1997). Trata-se de uma das bacias hidrográficas mais importantes do estado de Santa Catarina, abrangendo a área total ou parcial de 60 municípios. Segundo dados do último censo demográfico brasileiro, realizado no ano de 2010, a bacia hidrográfica do rio Itajaí possui um total de 1.264.294 habitantes, que corresponde à 20% da população estadual (SDS, 2018).

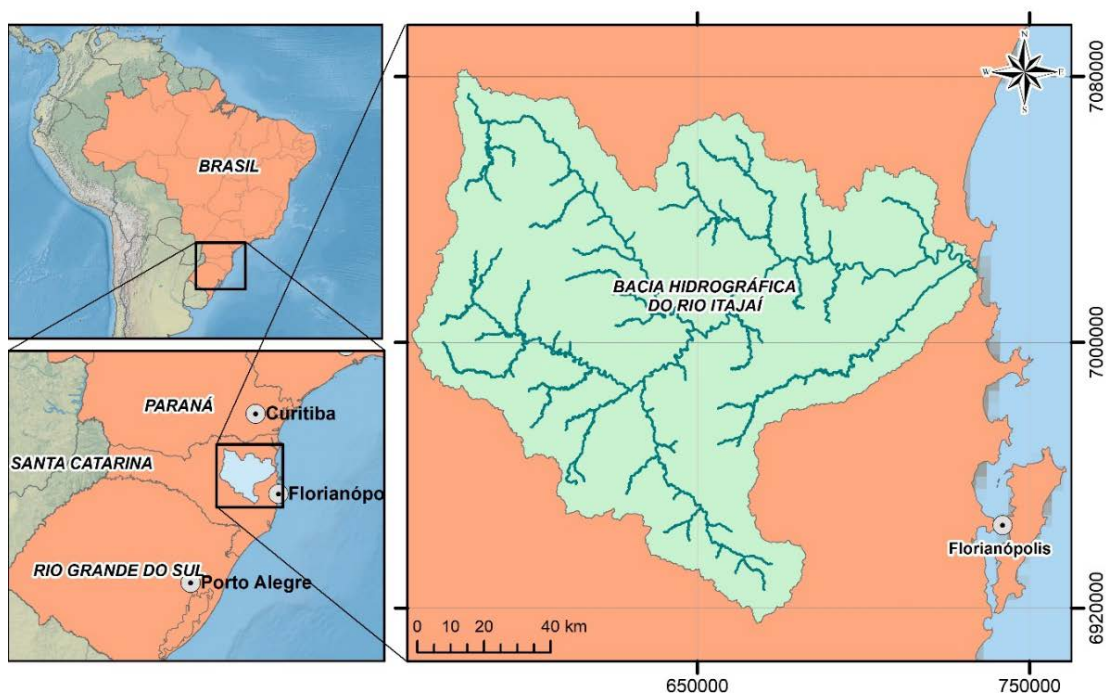


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Itajaí.

## METODOLOGIA

### Mapas de uso do solo

Para a realização da avaliação da evolução do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Itajaí, foram utilizados mapas de uso do solo de 1990, 2000, 2010 e 2015. Os mapas foram obtidos junto ao projeto MapBiomas, que foi iniciado em 2015 e é uma iniciativa de diversas universidades, Organizações Não Governamentais (ONGs) e

companhias privadas. O projeto tem como objetivo desenvolver uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para produzir séries anuais de uso e ocupação do solo em todo o território brasileiro. O MapBiomas disponibiliza atualmente uma série de mapas de uso do solo dos anos 1985 a 2017, totalizando um período de 33 anos (MapBiomas, 2018).

Os mapas disponibilizados pelo MapBiomias foram elaborados a partir de imagens de satélite *LandSat*, com resolução de 30 metros. Os mapas foram gerados a partir de algoritmos nas linguagens Javascript e Python, e diferencia 18 tipos de uso e ocupação do solo, dos quais 13 foram identificados na bacia hidrográfica do rio Itajaí. Com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, este estudo agrupou as 13 classificações propostas pelo MapBiomias em 6 tipos de uso do solo, conforme apresentado na figura 2.

Para a definição da simplificação proposta na tabela 1, foi realizada uma aferição dos usos do solo identificados pelo MapBiomias. Observou-se que muitas áreas definidas como *Mineração*, *Apicum* e *Praia e Duna* correspondiam, na realidade, a edificações, portanto estas áreas foram reclassificadas para *Infraestrutura urbana*. De forma semelhante, observou-se que muitas áreas identificadas pelo algoritmo do MapBiomias como Formação Campestre e Outra área não vegetada correspondiam a áreas de pastagem.

Uso do solo simplificado	Uso do solo do mapbiomas
Formação florestal	Formação florestal; Mangue
Silvicultura	Floresta plantada
Pastagem	Formação campestre; Pastagem; Outra área não vegetada
Agricultura	Cultura anual e perene; Mosaico de agricultura e pastagem
Infraestrutura urbana	Praia e duna; Infraestrutura urbana; Mineração; Apicum
Corpo d'água	Rio, lago e oceano

**Figura 2** – Simplificação das classificações de uso e ocupação do solo.

### Comparação entre os mapas

Os mapas de uso do solo de 1990, 2000, 2010 e 2015 foram avaliados e comparados entre si com o auxílio dos *softwares* ArcGIS 10.3 e TerrSet 18.31, antigo IDRISI, desenvolvido pela Clark Labs, da Clark University. Por meio do módulo *Land Change Modeler* (LCM) do TerrSet, é possível realizar uma comparação entre dois mapas de uso do solo de uma mesma área (Eastman, 2016). Este módulo fornece informações detalhadas e visuais, na forma de gráficos ou mapas, de como ocorreram as mudanças de uso do solo.

A comparação entre os mapas de uso do solo teve foco na área total de cada tipo de uso do solo, a fim de avaliar as taxas de aumento ou redução dos diferentes usos do solo ao longo dos anos. Com o auxílio do TerrSet, foi determinada a relação entre cada tipo de uso do solo.

### Projeção para o uso e ocupação do solo

Para auxiliar na predição de cenários futuros de uso do solo, modelos matemáticos têm sido cada vez mais utilizados. Como exemplo, cabe ressaltar o TerrSet, por meio do módulo LCM, que analisa mudanças de uso do solo por meio da identificação empírica de relações entre variáveis independentes, e permite a projeção de mudanças futuras no uso do solo (Eastman, 2016).

No LCM, as ferramentas para avaliação e previsões de mudanças de uso do solo são organizadas em três etapas fundamentais: análises das mudanças, transições potenciais, e previsões de mudanças. Para a realização destas tarefas, o

usuário deve fornecer ao modelo dois cenários de uso do solo de anos diferentes (Eastman, 2016).

Na etapa de análise das mudanças, o modelo identifica as transições que ocorreram entre um tipo de uso do solo e outro, e fornece ao usuário dados quantitativos das alterações que ocorreram na bacia entre os anos analisados.

Na determinação das transições potenciais, o modelo identifica o potencial de transição de cada pixel (área de terreno) para outro tipo de uso do solo. Nesta etapa, o modelo cria mapas de potencial de transição para cada possível transição de um tipo e solo a outro, conforme os resultados obtidos na etapa de análise das mudanças.

O LCM se baseia, de maneira empírica, em grupos de variáveis direcionais, chamadas de *drivers*, para agrupar os mapas de transições. Estes *drivers* são utilizados pelo LCM para modelar o processo histórico de mudanças no uso do solo.

Por exemplo, na modelagem de mudança de floresta para agricultura, os principais *drivers* considerados são declividade, proximidade de estradas, e proximidade de outras áreas que já possuam agricultura. Todas estas informações de *drivers* devem ser fornecidas pelo usuário ao LCM (Eastman, 2016).

As transições potenciais podem ser modeladas a partir do uso de uma rede neural *Multi-Layer Perceptron* (MLP), de regressão logística, ou de uma ferramenta de aprendizado computacional baseada em instância ponderada por similaridade

(*SimWeight*). Neste estudo foi utilizado o MLP, que apresenta resultados similares ao *SimWeight* e é um processo mais automatizado, exigindo menos intervenções do usuário, o que torna seu uso mais simples (Eastman, 2016).

Para gerar os mapas de transições, o MLP inicia seu processo treinando as redes neurais a partir dos pixels que apresentaram mudanças ou não de uso do solo.

Por meio de diversas iterações, o MLP seleciona e altera os parâmetros com o objetivo de aprimorar as simulações. O processo finaliza quando o erro quadrático médio obtido atinge seu melhor valor possível (Eastman, 2016).

Finalmente, após a calibração da geração dos mapas de transição, o LCM está apto a realizar a etapa de previsão de mudanças do uso do solo, quando o usuário fornece ao modelo o ano do mapa de uso do solo que deverá ser gerado pelo

modelo. Nesta etapa também é possível fornecer ao modelo informações de incentivos ou restrições para determinadas mudanças de uso do solo. Por exemplo, pode ser informado ao modelo áreas onde existem Unidades de Conservação, onde não poderá ocorrer desmatamento.

Para validar a calibração do LCM, solicita-se ao modelo que seja gerado o mapa de uso do solo de um ano cujas condições de uso e ocupação do solo sejam conhecidas. Os dados obtidos na comparação entre o mapa simulado pelo LCM e o mapa observado permitem a utilização de coeficientes de eficiência.

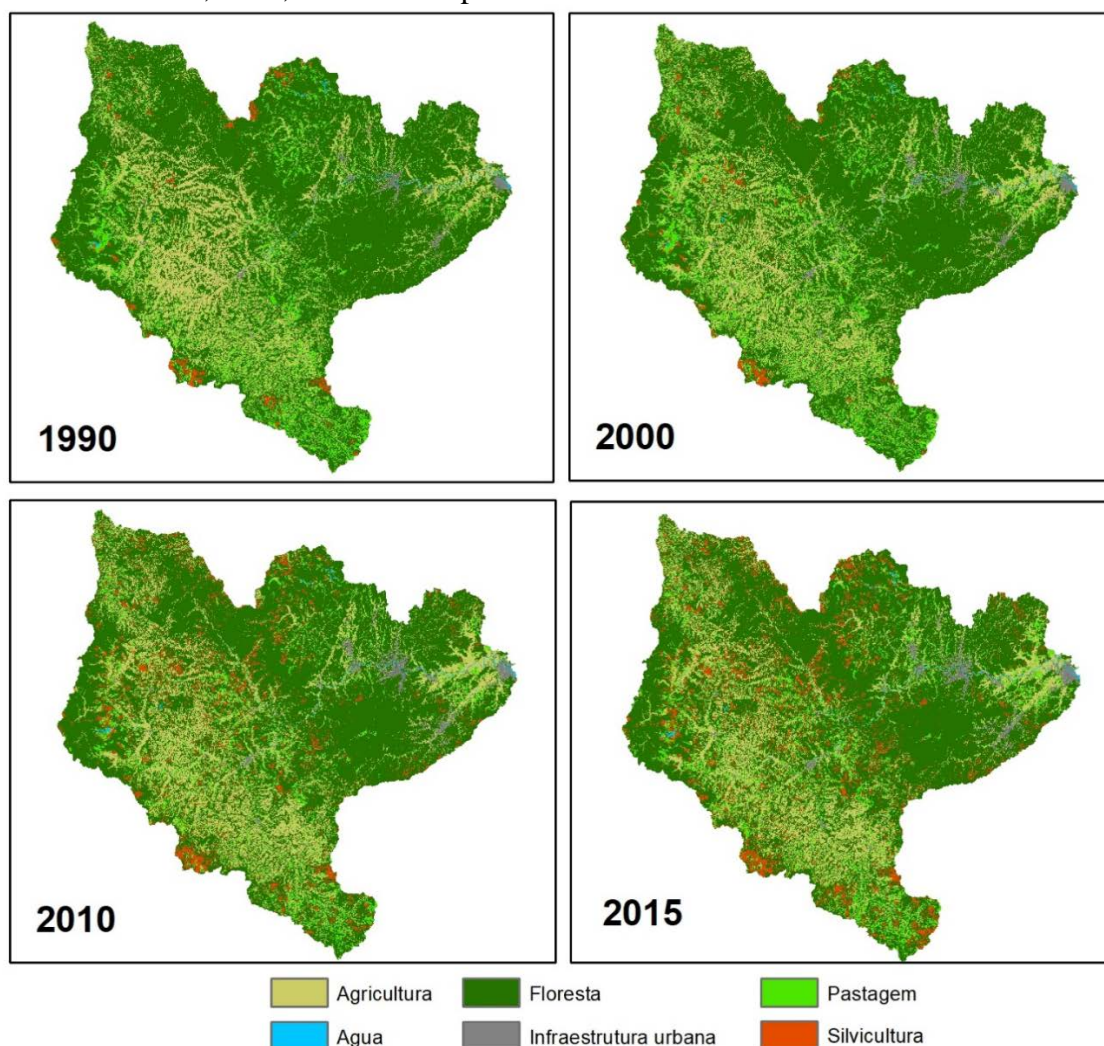
O coeficiente de Kappa é o mais utilizado em pesquisas que envolvem a simulação de uso do solo (Aguejda et al., 2017). Este coeficiente é calculado com base em uma matriz de confusões, e sua metodologia compensa a existência de possíveis acertos por sorte (Foody, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Evolução do uso do solo

A distribuição espacial dos mapas de uso do solo dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2015 podem

ser visualizados na figura 3, enquanto a tabela 1 e a figura 4 apresentam a área total de cada tipo de uso do solo nos diferentes anos avaliados.

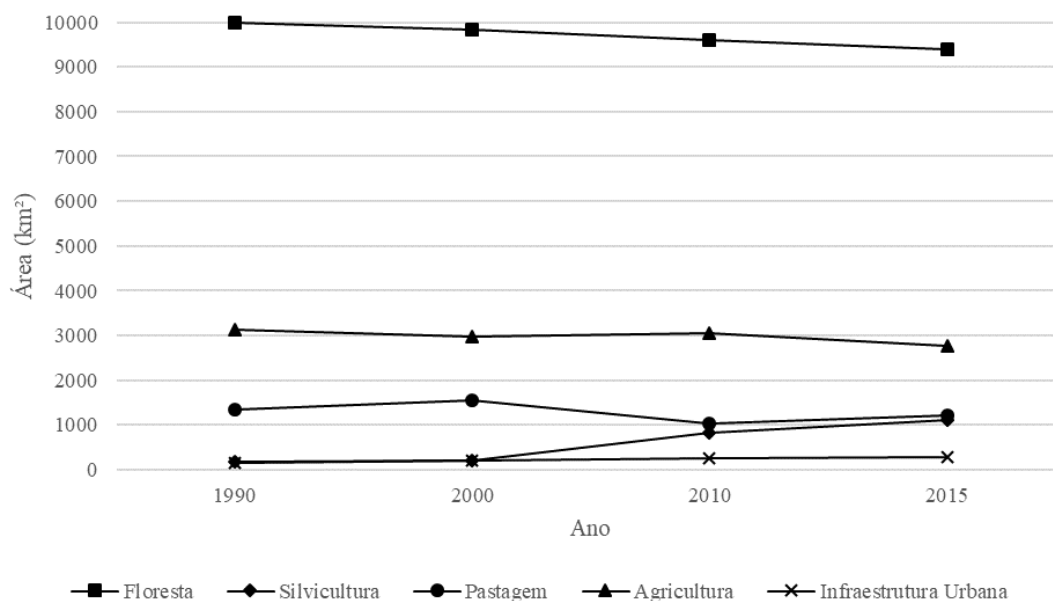


**Figura 3** – Mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2015.



**Tabela 1** – Evolução do uso e ocupação do solo nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2015.

Uso	Área (km <sup>2</sup> )				Variação 2015/1990 (%)
	1990	2000	2010	2015	
<b>Floresta</b>	9982.11	9841.25	9607.02	9401.28	-6%
<b>Silvicultura</b>	169.65	192.42	830.39	1115.52	558%
<b>Pastagem</b>	1342.85	1562.17	1036.70	1225.27	-9%
<b>Agricultura</b>	3137.71	2985.35	3050.22	2754.84	-12%
<b>Infraestrutura Urbana</b>	158.77	211.49	260.95	287.00	81%



**Figura 4** – Evolução do uso e ocupação do solo nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2015.

Observa-se que, entre os anos de 1990 e 2015, as áreas de agricultura e pastagem apresentaram oscilação entre aumento e redução. Contudo, quando analisados os mapas do início e final do período, ambos os usos do solo apresentaram uma redução da área, sendo de 12% e 9% respectivamente.

Somente formação florestal apresentou redução em todos os anos analisados, apesar de ser o valor menos significativo dentre os usos de solo analisados, de 6%. Infraestrutura urbana e silvicultura apresentaram crescimento em todo o período analisado. Estes dois usos do solo também foram os que apresentaram as maiores alterações em relação ao período completo, com um aumento total de suas áreas em 81% e 558%, respectivamente.

Conforme dados avaliados no TerrSet ao comparar os mapas de 1990 e 2015, é possível observar que a maior parte da área florestal perdida na bacia hidrográfica do rio Itajaí foi para a silvicultura, que também cresceu a partir de áreas de agricultura e pastagem. Observa-se também que o crescimento de infraestrutura urbana se dividiu majoritariamente entre áreas de

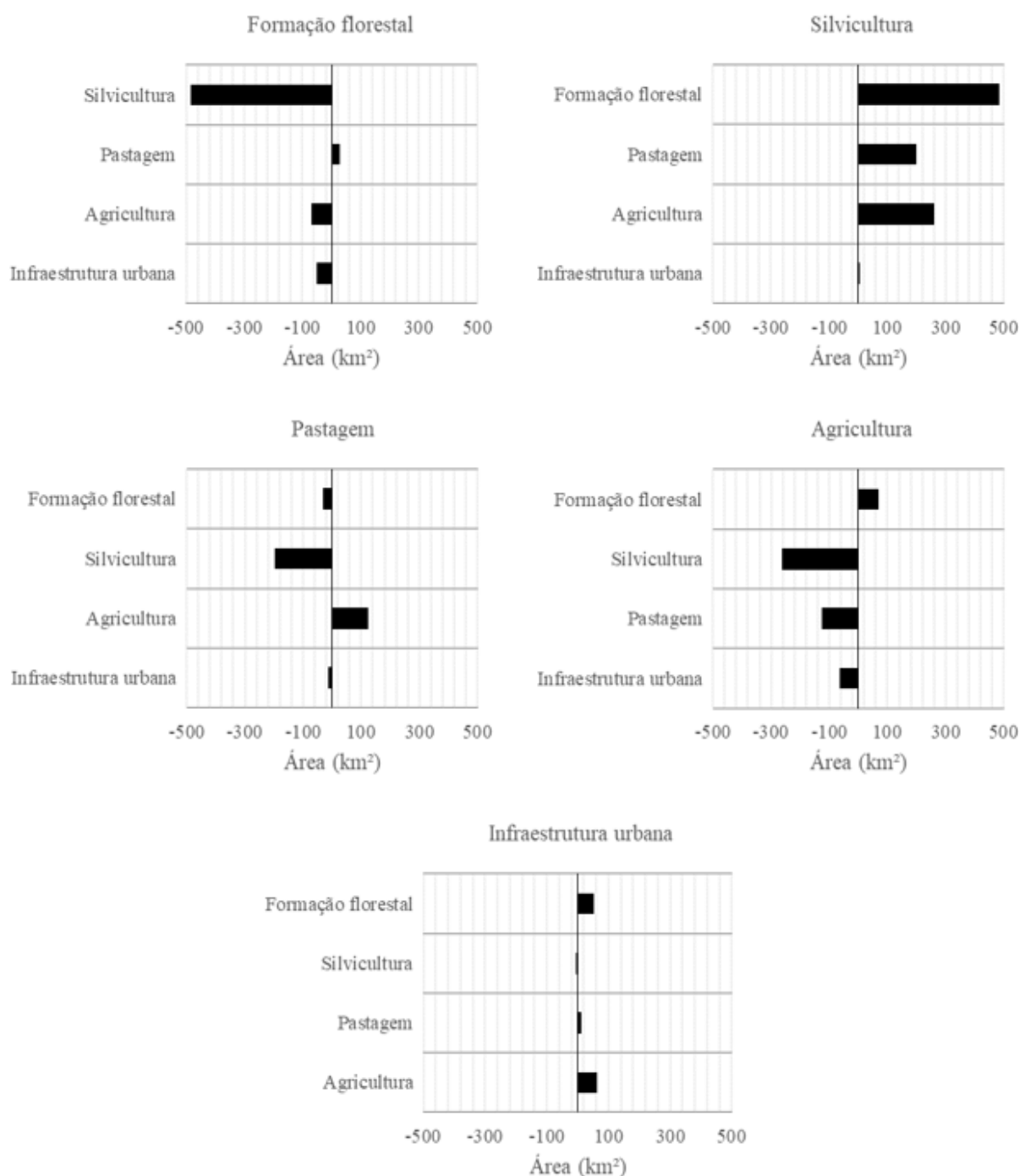
formação florestal e agricultura. Estas informações podem ser visualizadas na figura 5, que apresenta gráficos de origem das alterações de área de cada tipo de uso do solo.

### Projeção para 2027

#### Calibração do modelo

Para a determinação das transações potenciais de uso do solo, foram fornecidos ao LCM os mapas de 2000 e 2010. Foram utilizados como *drivers* mapas de declividade, de elevação, hidrografia e rodovias. Após a calibração e a geração dos mapas de transição, foi indicado ao LCM as áreas onde se encontram Unidades de Conservação, locais onde a formação florestal não poderá ter redução de área.

Para realizar a validação do modelo, foi solicitado ao LCM que fosse gerado um mapa de 2015, que foi posteriormente comparado com o mapa de 2015 obtido junto ao MapBiomias. Conforme apresentado na tabela 2, considerando apenas a área total de cada tipo de uso do solo, o modelo apresentou bons resultados. As maiores diferenças ocorreram para pastagem e agricultura, sendo de 7,1% e 6,8%.



**Figura 5** – Alterações ocorridas entre 1990 e 2015 para cada tipo de uso do solo.

**Tabela 2** – Comparação geral das áreas de cada tipo de uso do solo entre o mapa simulado e o mapa observado.

Uso	Área (km²)		Variação (%)
	Mapa do MapBiomias	Mapa simulado pelo TerrSet	
Formação florestal	9401.28	9084.90	-3.4%
Silvicultura	1115.52	1157.61	3.8%
Pastagem	1225.27	1311.82	7.1%
Agricultura	2754.84	2941.06	6.8%
Infraestrutura urbana	287.00	290.01	1.0%

Ao realizar uma análise geral do mapa simulado, avaliando a sobreposição de cada pixel entre os dois mapas, obteve-se uma precisão global

de 82,8%, e um coeficiente de Kappa de 0,69, que indica uma simulação satisfatória conforme escala proposta por Landis & Kosch (1977).

### Simulação do mapa de 2027

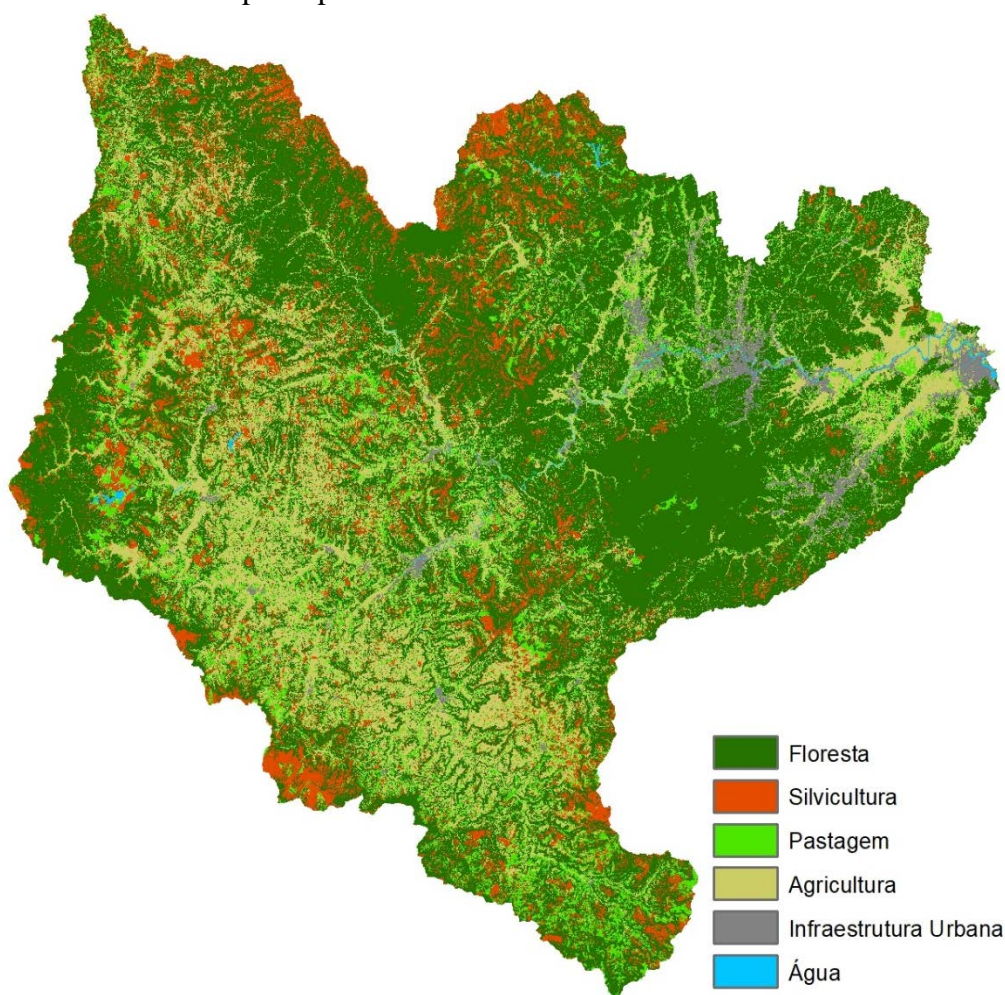
Após a calibração do LCM, foi gerado o mapa de uso e ocupação do solo de 2027. Conforme observado na tabela 3, caso os padrões de mudanças no uso e ocupação do solo não se alterem, poderá haver um acréscimo de 48,1% na área total de silvicultura, com relação ao ano de 2015, ultrapassando a área total de pastagem. A área de formação florestal terá uma redução de 13,2%.

A figura 6 apresenta o mapa de uso do solo de 2027. Observa-se que, em 2027, apenas 55% da área total da bacia será ocupada por florestas

naturais. Em 1990, este valor era de 67%.

**Tabela 3** – Comparação das áreas de cada tipo de uso e ocupação do solo entre os anos de 2015 e 2027.

Uso	Área (km <sup>2</sup> )		Variação (%)
	2015	2027	
Formação florestal	9401.28	8156.91	-13.2%
Silvicultura	1115.52	1651.53	48.1%
Pastagem	1225.27	1509.28	23.2%
Agricultura	2754.84	3135.30	13.8%
Infraestrutura urbana	287.00	332.27	15.8%



**Figura 6** – Mapa de uso e ocupação do solo simulado para o ano de 2027.

### CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste artigo indicam uma forte tendência de crescimento da silvicultura na bacia hidrográfica do rio Itajaí. Observa-se também que a maior parte das áreas de crescimento da silvicultura tem como origem áreas de formação florestal. As áreas destinadas à pastagem e à agricultura apresentam oscilações ao longo do tempo. No entanto, é previsto que até o ano de 2027 ocorra um crescimento de 23,2% e 13,8% das áreas de pastagem e agricultura,

respectivamente. Estes dados, por fim, são de grande importância para a realização de uma gestão e planejamento adequados do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica. A simulação de cenários futuros de uso do solo se torna uma ferramenta de previsão valiosa para a realização da gestão dos recursos hídricos, uma vez que as alterações do uso e ocupação do solo interferem diretamente na quantidade e na qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

## REFERÊNCIAS

- AGUEJDAD, R.; HOUET, T.; HUBERT-MOY, L. Spatial Validation of Land Use Change Models Using Multiple Assessment Techniques: A Case Study of Transition Potential Models. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 22, n. 6, p. 591–606, 2017.
- BLAINSKI, É.; SILVEIRA, F.A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L.H.P.; VIANNA, L.F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Agropecuária Catarinense**, v. 24, n. 1, p. 65–70, 2011.
- BLAINSKI, É.; PORRAS, E.A.A.; GARBOSSA, L.H.P.; PINHEIRO, A. Simulation of land use scenarios in the Camboriú River Basin using the SWAT model. **Rev. Bras. Rec. Hídricos**, v. 22, 2017.
- DUDGEON, D.; ARTHINGTON, A.H.; GESSNER, M.O.; KAWABATA, Z-I.; KNOWLER, D.J.; LÉVÊQUE, C.; NAIMAN, R.J.; PRIEUR-RICHARD, A.H.; SOTO, D.; STIASSNY, M.L.J.; SULLIVAN, C.A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v. 81, n. 02, p. 163, 2006.
- EASTMAN, J.R. **TerrSet Manual**. Worcester/MA: Clark University, 2016.
- EGLER, M. **Gerenciamento integrado de recursos hídricos no Estado do Rio de Janeiro: Ensaio de indicador para o estabelecimento da avaliação das relações entre qualidade da água e cobertura vegetal**. Rio de Janeiro. 2012. 333 p. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- EGLER, M.; BUSS, D.F.; MOREIRA, J.C.; BAPTISTA, D.F. Influence of agricultural land-use and pesticides on benthic macroinvertebrate assemblages in an agricultural river basin in southeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 437–443, 2012.
- FOODY, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 185–201, 2002.
- GHAFFARI, G.; KEESSTRA, S.; GHODOUSI, J.; AHMADI, H. SWAT-simulated hydrological impact of land-use change in the Zanjanrood Basin, Northwest Iran. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 7, p. 892–903, 2010.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977.
- MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 02, p. 134–153, 21 jun. 2002.
- MAPBIOMAS. **MapBiomass General “Handbook”**. Collection ed.
- RODRIGUES, E.L.; ELMIRO, M.A.T.; BRAGA, F.A.; JACOBI, C.M.; ROSSI, R.D. Impact of changes in land use in the flow of the Pará River Basin, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 70–76, 2015.
- SDM. - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina: Diagnóstico Geral**. Florianópolis: Instituto CEPA, 1997.
- SDS. - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina**. 2018.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.
- ZHANG, L.; KARTHIKEYAN, R.; BAI, Z.; SRINIVASAN, R. Analysis of streamflow responses to climate variability and land use change in the Loess Plateau region of China. **Catena**, v. 154, p. 1–11, 2017.

*Submetido em 20 de abril de 2020  
Aceito para publicação em 5 de maio de 2021*