

TRANSFORMAÇÕES ESPACIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA/RS NO PERÍODO 1985 A 2020 E CENÁRIOS PARA 2030 E 2050

SPATIAL TRANSFORMATIONS IN THE GUAÍBA LAKE HYDROGRAPHIC BASIN/RS IN THE PERIOD 1985 TO 2020 AND SCENARIOS FOR 2030 AND 2050

TRANSFORMACIONES ESPACIALES EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL LAGO GUAÍBA/RS DE 1985 A 2020 Y ESCENARIOS PARA 2030 Y 2050

RESUMO

O uso e a cobertura da terra sofrem constantes transformações em decorrência de fatores naturais, ao mesmo tempo que têm sido objeto de intensas alterações pela ação antrópica ao longo dos anos. Existe uma lacuna de estudos que aborde essas transformações no sul do Brasil, especialmente no bioma Pampa, e particularmente na bacia hidrográfica do Lago Guaíba/RS. Este trabalho tem por objetivo analisar as mudanças no uso e ocupação da terra na bacia entre os anos 1985 e 2020, utilizando as bases cartográficas do Projeto Mapbiomas, e para complementar a investigação, apresenta o cenário tendencial para os anos de 2030 e 2050. As atividades agrícolas predominaram na bacia até 2020, sendo que os usos identificados como Arroz, Soja e Silvicultura avançaram sobre a Formação Campestre nos últimos 35 anos, consolidando-se em detrimento de outros usos relacionados à cobertura natural. Prognósticos para o futuro próximo mostram que essa tendência persiste nos cenários 2030 e 2050, acarretando perdas significativas e irreparáveis aos ecossistemas. A observação dessas transformações ao longo do tempo permite projetar estudos futuros para a avaliação de serviços ecossistêmicos, por exemplo, que podem direcionar para a utilização racional dos recursos naturais.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra; Mapbiomas; Dinamica EGO; Serviços Ecossistêmicos; Bioma Pampa.

ABSTRACT

Land use and land cover undergo constant transformations as a result of natural factors, at the same time that they have been subject to intense changes due to anthropic action over the years. There is a lack of studies that address these transformations in southern Brazil, especially in the Pampa biome, and particularly in the basin of Lake Guaíba/RS. This work aims to analyze the changes in land use and occupation in the basin between the years 1985 and 2020, using the cartographic bases of the Mapbiomas Project, and to complement the investigation, presents the trend scenario for the years 2030 and 2050, through of the Dynamic EGO model. The results show that agricultural activities predominated in the basin until 2020, and the uses identified as Rice, Soybean and Forest Plantation advancing over the Grassland and on Other Temporary Crops in the last 35 years, consolidating in the basin to the detriment of other uses related to natural coverage. Forecasts for the near future show that this trend persists in the 2030 and 2050 scenarios, resulting in significant and irreparable losses to ecosystems. The observation of these transformations over time allows to design future studies for the evaluation of ecosystem services, for example, that can lead to the rational use of natural resources.

Keywords: Mussum; ipsum; lorem.

RESUMEN

El uso y la cobertura del suelo sufren cambios constantes como resultado de factores naturales, al mismo tiempo que han estado sujetos a cambios intensos por la acción antrópica a lo largo de los años. Faltan estudios que aborden estas transformaciones en el sur de Brasil, especialmente en el bioma pampeano, y particularmente en la cuenca del lago Guaíba/RS. Este trabajo analiza los cambios de uso y ocupación del suelo en la cuenca entre los años 1985 y 2020, utilizando las bases cartográficas del Proyecto Mapbiomas, y para complementar la investigación, presenta el escenario tendencial para los años 2030 y 2050. Las actividades agrícolas predominan en la cuenca hasta el 2020, y los usos y coberturas identificados como Arroz, Soja y Silvicultura han avanzado sobre la Formación Campestre en los últimos 35 años, consolidándose en detrimento de otros usos relacionados con la cobertura natural. Los pronósticos para el futuro cercano muestran que esta tendencia persiste en los escenarios de 2030 y 2050, resultando en pérdidas significativas e irreparables para los ecosistemas. La observación de estas transformaciones a lo largo del tiempo nos permite diseñar futuros estudios para la evaluación de los Servicios Ecosistémicos, por ejemplo, que pueden conducir al uso racional de los recursos naturales.

Palabras-clave: Uso y cobertura del suelo; Mapbiomas; Dinamica EGO; Servicios Ecossistêmicos; Bioma Pampa

 Sumirê da Silva Hinata^a
 Luís Alberto Basso^b
 Isabel Cristiane Rekowski^a

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul

DOI: 10.12957/geouerj.2023.70767

Correspondência: sumirehinata@gmail.com;
luis.basso@ufrgs.br;
isabel.rek@gmail.com

Recebido em: 15 out. 2022

Revisado em: 19 dez. 2022

Aceito em: 11 maio 2023



INTRODUÇÃO

Mudanças no uso e cobertura da terra fazem parte da dinâmica dos mais diversos tipos de ambientes e são resultantes de agentes naturais, porém tornaram-se mais relevantes ao longo dos últimos anos, em decorrência de ações antrópicas mais intensas. O termo uso e cobertura da terra define de forma mais apropriada a utilização cultural da terra (NOVO, 1989), sendo a ação antrópica responsável pela utilização dos seus recursos e modificação do espaço geográfico (SANTOS; PIROLI, 2015).

A certeza da ação antrópica sobre a natureza resultou no conceito do Antroma, ou Bioma Antropogênico, para classificar os biomas impactados pelo alto grau de modificações nas estruturas naturais do planeta desde os anos 1700. Atualmente, e cada vez mais no futuro, a forma e o processo dos ecossistemas terrestres na maioria dos biomas serão predominantemente antropogênicos, produto do uso da terra e de outras interações humanas diretas com os ecossistemas (ELLIS *et al.*, 2010). Modificações de habitat, extinção de plantas e animais, sedimentação, erosão, por exemplo, já são processos antropogênicos que superam os processos naturais (TOLEDO; VIEIRA, 2017).

A bacia hidrográfica do Lago Guaíba (BHLG) é composta por diferentes tipos de uso e cobertura da terra, o que a torna especialmente importante por abarcar usos diversos, relacionados ao avanço de áreas urbanas, silvicultura, culturas temporárias (arroz e soja), formação campestre, entre outros.

A BHLG está inserida no bioma Pampa, que ocupa uma área de 176.496 km² ao sul do Brasil, correspondente a 2,07% do país e 63% do território do Rio Grande do Sul (ROESCH *et al.*, 2009). Esse bioma sofreu uma redução de 26% nas pastagens naturais desde 1975, sendo essa diminuição relacionada ao incremento de atividades agrícolas como florestas cultivadas (silvicultura) e culturas temporárias (soja) principalmente entre 1995 e 2005, alterando a configuração nativa (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Análises sobre as transformações ocorridas na BHLG são fundamentais para entender os impactos das mudanças de uso e cobertura da terra, considerando-se a escassez de estudos sobre a bacia nesse âmbito. Ainda que possua importante ocupação urbana, alguns setores têm acentuada utilização para atividades agrícolas, as quais impactam sobremaneira a vegetação natural que caracteriza o bioma Pampa.

A BHLG faz divisa com o Parque do Delta do Jacuí na porção norte e, ao sul, com a Laguna dos Patos, sendo drenada por 37 tributários principais que contribuem diretamente ao lago Guaíba pelas suas margens esquerda e direita (RIO GRANDE DO SUL, 2016). Esses cursos d'água, denominados arroios, sofrem com os impactos decorrentes de usos como o represamento de cursos fluviais, lavouras (arroz irrigado, tabaco, erva-mate, soja), fruticultura, atividade pecuária, indústria (coureiro-calçadista, petroquímica, metalmecânica, automobilística, de celulose, de bebidas), além dos efluentes de esgotos domésticos (PRO-GUAÍBA, 2005).



Cabe salientar que as atividades agrícolas praticadas em Tapes, Barra do Ribeiro e Guaíba, por exemplo, utilizam ostensivamente agrotóxicos e fertilizantes (BASSO, 2012).

Além de analisar as transformações ocorridas no uso e ocupação da terra na bacia entre os anos 1985 e 2020, observados através dos dados do Projeto Mapbiomas, este estudo tem por objetivo apresentar o cenário tendencial para os anos de 2030 e 2050, através do modelo Dinamica EGO. Esse diagnóstico é urgente e indispensável, visto a escassez de estudos que abordem a transformação do uso e cobertura da terra no sul do Brasil, comparado a outras regiões do país (OVERBECK *et al.*, 2009). O conhecimento sobre os recursos naturais e seu funcionamento são essenciais para definir sua utilização racional (BOLDRINI, 2009).

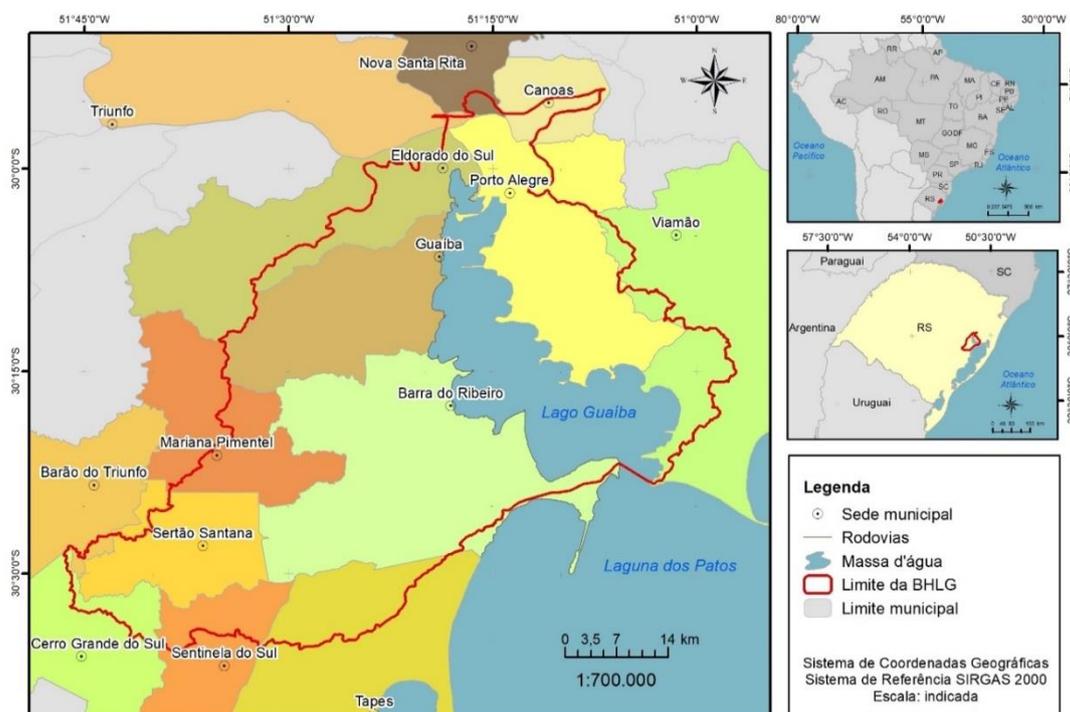
Considerando que ações de conservação são urgentemente necessárias, estudos estratégicos devem ser priorizados e implementados considerando a especificidade de cada bioma, incluindo o funcionamento de ecossistemas para direcionar o manejo local (BRANDON *et al.*, 2005).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Lago Guaíba (Figura 1), codificada como unidade G80 pelo Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul - Lei 10.350/1994 (RIO GRANDE DO SUL, 1994), é a última contribuinte da Região Hidrográfica do Guaíba. Situa-se a leste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29°55' a 30°37' de latitude Sul e 50°56' a 51°46' de longitude Oeste.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).



A BHLG abrange total ou parcialmente 14 municípios: Barão do Triunfo (2,62% da área do município na bacia), Barra do Ribeiro (93,41%), Canoas (28,84%), Cerro Grande do Sul (14,30%), Eldorado do Sul (22,89%), Guaíba (100%), Mariana Pimentel (51,57%), Nova Santa Rita (1,95%), Porto Alegre (81,19%), Sentinela do Sul (31,62%), Sertão Santana (91,13%), Tapes (17,06%), Triunfo (0,49%) e Viamão (9,14%) (DIPLA/DRHS, 2020).

Canoas, Guaíba, Triunfo e a capital Porto Alegre responderam por 7,58%, 1,16%, 4,04% e 6,59%, respectivamente, sobre o Valor Adicionado Bruto (VAB) a preços básicos no setor da indústria em relação ao estado em 2019. No VAB da agropecuária, Barra do Ribeiro (0,67%), Triunfo (0,67%) e Viamão (0,39%) são os municípios que integram a bacia e mais contribuíram para este setor em relação ao estado em 2019. No VAB do setor de serviços Porto Alegre, evidentemente, se destaca com 22,53%, tendo em vista sua função como capital (SPGG/DEE, 2022). Esses dados mostram a heterogeneidade de atividades nos municípios que integram parcial ou totalmente a bacia.

Municípios como Canoas, por exemplo, apresentaram expansão da urbanização de 56,68% entre 1984 e 2014, avançando principalmente sobre a classe de vegetação caracterizada pelo campo (HOFMANN; MARCOS; HASENACK, 2017).

Problemas em relação à urbanização desordenada das últimas décadas em Porto Alegre agravaram o problema da impermeabilização causada pelo asfalto, edificações e calçadas, trazendo como consequência o aumento da vazão do arroio Dilúvio, um dos principais contribuintes do lago Guaíba, intensificando inundações em áreas a jusante, além do aumento do carreamento de sedimentos, resíduos sólidos urbanos, sólidos dissolvidos totais e sólidos em suspensão totais que deterioram a qualidade de suas águas e contribuem para o seu assoreamento (BASSO; MOREIRA; PIZZATO, 2012). Ainda em relação ao arroio Dilúvio, Santos, Andrade e Tiecher (2020) constataram que a pressão urbana de Porto Alegre acarreta a contaminação dos sedimentos do arroio, e a poluição persiste ao longo do seu percurso, aumentando linearmente ao longo do mesmo, especialmente para alguns metais como o zinco, evidenciando-se melhorias nas áreas com maior vegetação ciliar.

Outro importante curso fluvial da BHLG, o arroio Passo Fundo, situado no município de Guaíba também enfrenta grave problema ambiental: o descarte de efluentes industriais que têm prejudicado seriamente a saúde dos moradores ribeirinhos (HINATA; BASSO; SANTOS, 2021; MARTINS; GUERRA; ALTMANN, 2011).



Modificações do uso e cobertura da terra

Mudanças no uso e cobertura da terra podem ser entendidas como a forma pela qual o espaço geográfico é ocupado pela sociedade, e o levantamento dessas transformações são importantes para a compreensão dos padrões de evolução de uma área.

A trajetória dessas mudanças expressa as relações socioeconômicas existentes, e revela como a sociedade se apropria e se articula com a natureza, imprimindo sua marca através do histórico de ocupação, que reflete as prioridades sociais e culturais de uma sociedade (MOURA; MORAN, 2017). Além desses fatores, notabilizam-se os aspectos econômicos, que estão diretamente atrelados ao suprimento das demandas da sociedade, seja pela produção de alimentos, matéria-prima, recursos genéticos, serviços urbanos ou produção industrial.

A deterioração do meio ambiente tem como causas processos erosivos intensos, inundações, assoreamentos de corpos hídricos, consequências do uso desordenado da terra. O mapeamento e a detecção dessas mudanças pode ser mensurado através de produtos do sensoriamento remoto, que se tornaram uma importante ferramenta que disponibiliza informações de monitoramento dos recursos naturais da Terra (FERREIRA; PEREIRA FILHO, 2009).

O arranjo e a avaliação de diferentes dimensões: espacial (localização e infraestrutura regional); temporal (caracterização de fases de ocupação); socioeconômica e demográfica (caracterização de elementos socioeconômicos e culturais); e socioeconômica e demográfica regional (indicadores econômicos de produção e dinâmica populacional), combinadas a um sistema de base de dados georreferenciados, permitem a compreensão da evolução do espaço em um tempo definido (BATISTELLA; MORAN, 2005).

Mapear, monitorar e avaliar os diferentes usos e cobertura da terra são essenciais para identificar cenários apropriados ao planejamento e ordenamento territorial, abrindo possibilidades para acompanhamento de cenários atuais e previsão de cenários futuros (VASCONCELOS; RUIVO; LIMA, 2017).

Fontes de dados

As bases utilizadas para o mapeamento das classes fazem parte da Coleção 6 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil MapBiomas (2021), que cobrem o período de 1985 - 2020. O MapBiomas é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa de especialistas das mais diversas áreas, compreendendo biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, Sistema de Informação Geográfica (SIG) e ciência da computação. Os mapas são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens dos satélites da série Landsat com resolução de 30 metros. Este projeto tem como propósito contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais tendo como base o



desenvolvimento e implementação de uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil a partir de 1985 até os dias atuais (e posterior atualização anual) (MAPBIOMAS, 2021).

Os arquivos em formato *raster* foram processados e convertidos para *shapefile* no *software* ArcGis versão 10.5. Os códigos das classes da legenda e paleta de cores das tipologias de classe de uso e cobertura da terra são disponibilizados pelo próprio Mapbiomas, e compreendem as tipologias descritas no Quadro 1. A ferramenta *Identity* do Arcgis permitiu calcular uma interseção geométrica dos recursos de entrada (tipologias de uso e cobertura) e dos recursos de identidade (municípios), gerando uma sobreposição desses atributos. Assim foi possível quantificar os usos por área de cada município.

Quadro 1 - Legenda da Coleção 6 do MapBiomias para os tipos de uso e ocupação da terra existentes na BHLG.

MapBiomias Coleção 6	Feição	Descrição
Afloramento rochoso		Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola.
Área Urbanizada		Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e edificações.
Arroz		Áreas cultivadas com cultura de arroz, exclusivamente sob sistema de irrigação.
Campo Alagado e Área Pantanosa		Áreas pantanosas, denominadas regionalmente de banhados ou marismas (influência salina). Vegetação tipicamente higrófila, com plantas aquáticas emergentes, submersas ou flutuantes. Ocupam planícies e depressões do terreno com solo encharcado e também as margens rasas de lagoas ou reservatórios de água.
Formação Campestre		Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide. A composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Na maioria dos casos corresponde à vegetação nativa, mas podem estar presentes manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada).



MapBiomias Coleção 6	Feição	Descrição
Formação Florestal		Vegetação lenhosa com espécies arbóreas ou arbóreo-arbustivas, com predomínio de dossel contínuo. Inclui as tipologias florestais: ombrófila, decidual e semidecidual e parte das formações pioneiras.
Mosaico de Agricultura e Pastagem		Áreas de uso agropecuário, onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Pode incluir áreas de cultivos, pastagens de inverno ou de verão e de horticultura. Inclui as áreas de descanso entre safras agrícolas (pousio).
Outras Áreas não Vegetadas		Classe mista que contempla áreas naturais e áreas antropizadas. As áreas naturais incluem superfícies arenosas como as praias fluviais e os areais. As áreas antropizadas incluem áreas de solo exposto e superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração).
Outras Lavouras Temporárias		Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
Praia e Duna		Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o predomínio de vegetação de nenhum tipo.
Rio e Lago		Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
Silvicultura		Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).



MapBiomias Coleção 6	Feição	Descrição
Soja		Áreas cultivadas com a cultura da soja.

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021). Imagens Google Earth. Elaborado pelos autores.

Os dados quantitativos foram tabulados e exportados para análise no programa Excel, permitindo a análise comparativa entre os dados.

Cenários futuros de uso e cobertura da terra

A partir das transições ocorridas no intervalo de 35 anos, sendo a paisagem inicial definida como ano de 1985 e a paisagem final o ano de 2020, foi possível simular o cenário tendencial para os anos de 2030 e 2050, através do *software* livre DINAMICA EGO versão 6.1.0, que permite a avaliação de questões ambientais através da composição de um modelo de simulação espacialmente explícito, possibilitando a evolução de diferentes cenários com base na situação ambiental existente (RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007). O modelo utiliza o método de inferência estatística e as abordagens de alocação de autômatos celulares (SOARES-FILHO; PENNACHIN; CERQUEIRA, 2002). Autômatos Celulares são entendidos como sistemas espaciais dinâmicos, que têm por base a ideia de que o estado de uma célula (pixel) da matriz depende do estado prévio das células que se encontram dentro de uma determinada vizinhança, de acordo com um conjunto de regras de transição (ROCHA, 2012).

O ano de 2030 foi selecionado por ser o horizonte para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente o Objetivo 15 – Vida terrestre, que visa “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade” (ONU, 2022) e 2050 por ser referência para a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005).

O Dinamica EGO segue dez etapas que consistem em: 1) Calcular matrizes de transição; 2) Calcular intervalos para categorizar variáveis contínuas; 3) Calcular os Pesos de Evidência; 4) Analisar a correlação de mapas; 5) Montar e rodar o modelo de simulação de uso e cobertura da terra; 6) Validar a simulação usando a função de decaimento exponencial; 7) Validar a simulação usando a função de decaimento constante; 8) Rodar a simulação com a formação de manchas (*patch*); 9) Rodar a simulação com a formação e expansão de manchas; 10) Projetar as trajetórias de uso e cobertura da terra.



Além dos mapas de paisagem inicial e final, correspondentes aos mapas em arquivo *raster* do Projeto Mapbiomas para os anos 1985 e 2020, respectivamente, o modelo recebeu um conjunto de mapas denominado *cube raster* composto por uma série de mapas estáticos, assim denominados porque não mudam durante a iteração do modelo. Os mapas que compuseram o *cube raster* foram elevação, provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, 2007), declividade (em graus, a partir da elevação SRTM), solos (STRECK *et al.*, 2008), hidrografia (SEMA, 2018), rodovias pavimentadas (SEMA, 2018) e áreas urbanas (SEMA, 2018). Os limites desses mapas foram estabelecidos no *software* ArcGis a partir do recorte da bacia do Lago Guaíba (SEMA, 2018). Com a ferramenta “envelope” foi gerado um polígono regular abrangendo toda a área e feito um *buffer* de 500 m para garantir que todas as feições de interesse permanecessem dentro do limite. Por fim, os arquivos foram reprojeto para Sirgas UTM 22 e convertidos de polígonos para *raster*.

A proposta dos autômatos celulares no Dinamica EGO permite aos usuários definir ou editar parâmetros para controlar o tamanho médio das manchas que orientam a transição específica das classes de uso e cobertura, podendo ser utilizado de forma automática ou para uma abordagem tendencial. O Dinamica EGO oferece ferramentas para validação do modelo (WOLDEYOHANNES *et al.*, 2020). Descrições detalhadas do *software* e dos processos podem ser encontradas no guia do *software* (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

Como uma plataforma de modelagem *freeware* para modelagem ambiental, o Dinamica EGO tem sido aplicado em uma variedade de estudos. Além da expressivo número de trabalhos relacionados à modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra (BRANCO; MARIA; NUNES, 2022; CRUZ; BLANCO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2022; GOMES *et al.*, 2021), outros estudos contemplam o impacto das queimadas sobre os biomas no Brasil (REIS *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2022), mudanças climáticas (MENDOZA-PONCE *et al.*, 2021) e alteração de uso e cobertura do solo correlacionadas aos serviços ecossistêmicos (BACHI *et al.*, 2020; DIB *et al.*, 2020; HINATA; BASSO; SANTOS, 2021; PETRONI; SIQUEIRA-GAY; GALLARDO, 2022; WOLDEYOHANNES *et al.*, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distribuições espaciais dos padrões de uso e cobertura da terra observados e projetados na BHLG e suas mudanças são apresentadas na

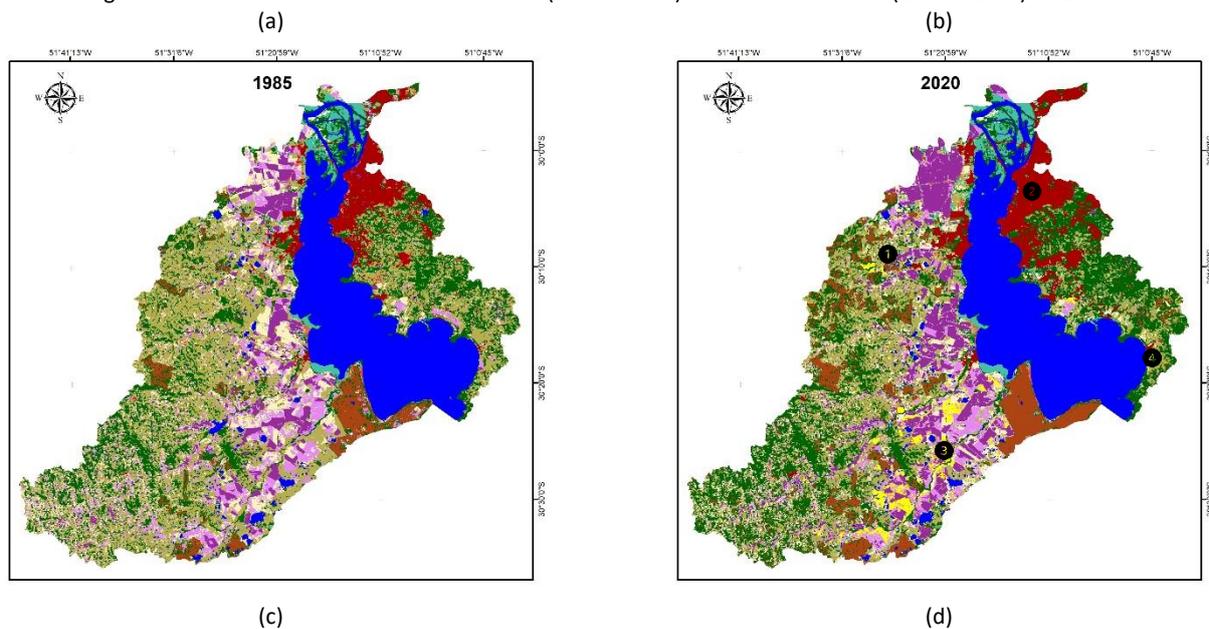
Tabela 1 e Figura 2. A paisagem mudou significativamente durante os últimos 35 anos, de 1985 a 2020 (Figura 2 (a)(b)).

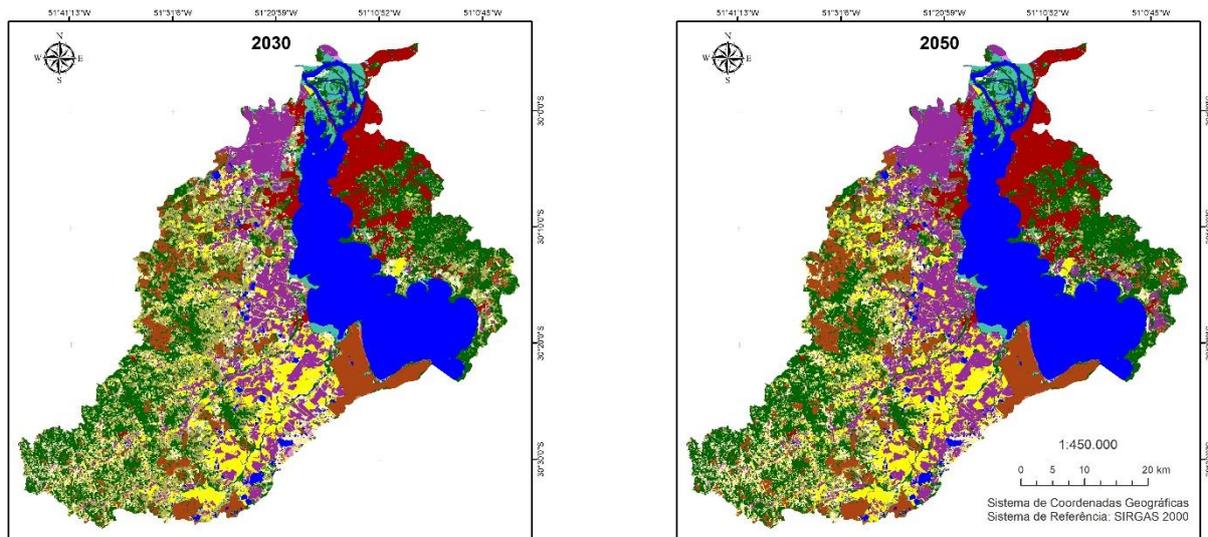
Tabela 1 - Transformações no uso e cobertura da terra observadas (1985 a 2020) e cenário tendencial (2030 e 2050) na BHLG.

Uso e cobertura da terra	1985 (km ²)	2020 (km ²)	2030 (km ²)	2050 (km ²)	Varição 1985-2020 (%)	Varição 2020-2030 (%)	Varição 2020-2050 (%)
Afloramento Rochoso	0,10	0,09	0,09	0,10	-7,96%	-5,19%	1,79%
Área Urbanizada	125,10	186,13	198,97	219,30	48,79%	6,90%	17,82%
Arroz	143,89	245,98	313,99	421,98	70,95%	27,65%	71,55%
Campo Alagado e Área Pantanosa	63,53	84,70	84,70	84,65	33,32%	0,00%	-0,05%
Formação Campestre	849,12	543,57	388,50	198,02	-35,98%	-28,53%	-63,57%
Formação Florestal	559,46	657,79	675,74	676,30	17,58%	2,73%	2,81%
Mosaico Agricultura/Pastagem	305,46	249,70	255,48	225,08	-18,26%	2,32%	-9,86%
Outras Áreas não Vegetadas	29,97	16,45	13,51	9,04	-45,10%	-17,91%	-45,04%
Outras Lavouras Temporárias	239,73	154,92	9,47	5,87	-35,38%	-93,88%	-96,21%
Praia, Duna e Areal	0,37	0,26	0,22	0,22	-30,02%	-15,30%	-15,30%
Rio e Lago	560,73	558,89	558,89	558,84	-0,33%	0,00%	-0,01%
Silvicultura	95,40	216,39	238,39	283,20	126,82%	10,16%	30,87%
Soja	-	58,01	234,95	290,31	-	304,98%	400,41%
Total Geral	2972,87	2972,89	2972,89	2972,91	-	-	-

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Figura 2 - Uso e cobertura da terra observadas (1985 a 2020) e cenário tendencial (2030 e 2050) na BHLG.





Classes de uso e cobertura da terra

Formação natural não florestal

- Afloramento Rochoso
- Campo Alagado e Área Pantanosa
- Formação Campestre

Floresta

- Formação Florestal

Área não vegetada

- Área Urbanizada
- Outras Áreas não Vegetadas
- Praia, Duna e Areal

Corpo d'água

- Rio e Lago

Agropecuária

- Arroz
- Mosaico de Agricultura e Pastagem
- Outras Lavouras Temporárias
- Silvicultura
- Soja



(b)1 - Silvicultura



(b)2 - Área urbanizada



(b)3 - Soja



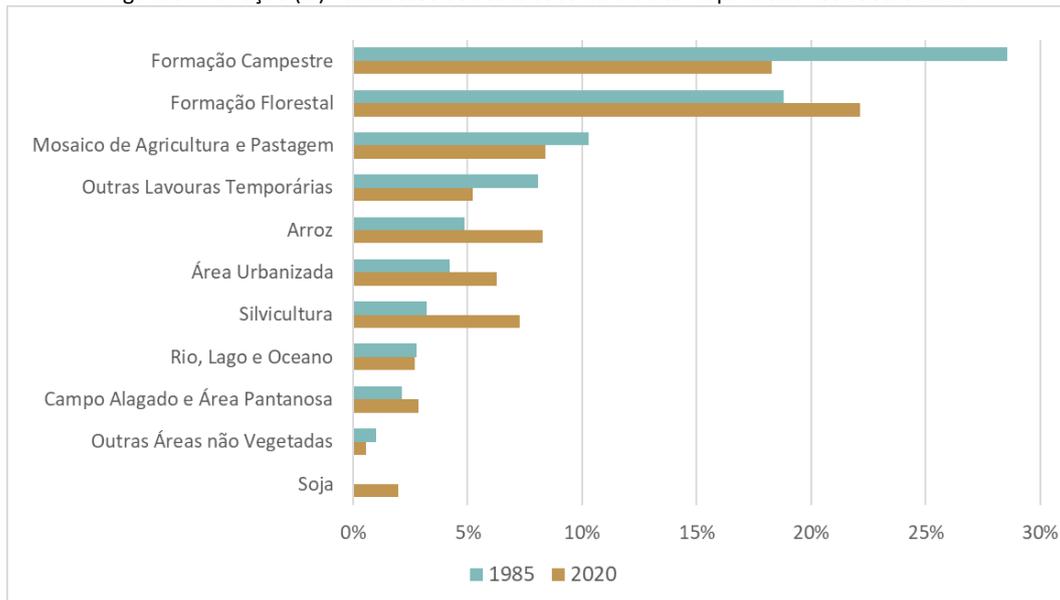
(b)4 - Lago

Fonte: elaborado pelos autores (2022). Fotos: Sumirê Hinata.

Os usos e coberturas com ocupação expressiva e que sofreram as maiores perdas entre 1985 (azul) e 2020 (marrom) foram Formação Campestre, Outras Lavouras Temporárias e Mosaico de Agricultura e Pastagem (-35,98%, -35,38% e -18,26%, respectivamente), conforme pode ser observado na Figura 3.



Figura 3 - Variação (%) nas classes de uso e cobertura da terra para os anos 1985 e 2020.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A Formação Campestre corresponde à vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de manejo pastoril (pecuária), e é a cobertura que melhor caracteriza o bioma Pampa. Na maioria dos casos equivale à vegetação nativa, mas podem ocorrer manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada) (MAPBIOMAS, 2021). Essa cobertura predomina na BHLG, e sofreu uma perda expressiva de 35,98% no período 1985-2020, passando de uma ocupação de 28,56% da área da bacia em 1985 para 18,28% em 2020.

A diminuição da Formação Campestre ocorreu em toda a bacia, mas fica mais evidente em municípios da porção oeste com atividade agropecuária predominante, como Barra do Ribeiro (-55,38%), Eldorado do Sul (-79,06%), Guaíba (-37,73%), Mariana Pimentel (-76,45%), Sertão Santana (-50,81%) e Tapes (-73,35%). A perda da Formação Campestre é consequência do avanço da Silvicultura, Arroz, Soja e Formação Florestal, sendo que o avanço da Soja sobre esse uso já foi evidenciado no município de Guaíba (HINATA; BASSO; SANTOS, 2021). Ressalta-se que os quantitativos apresentados com recorte municipal correspondem somente a área do município inserida na BHLG.

As áreas de pastagem são consideradas o principal uso da terra no Brasil, estando vinculadas à subsistência do maior rebanho comercial do mundo. De 1985 a 2017, as áreas de pastagem sofreram retração apenas nos biomas Mata Atlântica (11,3 Mha) e Pampa (4,04 Mha), principalmente nos últimos anos do período, onde cederam lugar para cultivos mais intensivos e rentáveis economicamente, como soja e cana-de-açúcar (PARENTE *et al.*, 2019). Em termos percentuais, o aumento mais expressivo ocorreu com o avanço das áreas de Silvicultura. Se em 1985 esse cultivo ocupava 95,40 km² da área da BHLG, em 2020 passaram para 216,39 km², o que se traduz em um aumento de 126,82%.

Barra do Ribeiro, Eldorado do Sul, Guaíba, Mariana Pimentel, Sentinela do Sul, Sertão Santana e Tapes passaram a desenvolver intensamente a Silvicultura ao longo dos 35 anos analisados. Esse uso tem importância significativa na região em função da planta de beneficiamento de celulose de uma empresa multinacional chilena localizada no município de Guaíba (Figura 4).

Figura 4 - Diferentes tipos de uso e cobertura no município de Guaíba/RS: (1) Silvicultura, (2) Formação Florestal e (3) Campo Alagado e Área Pantanosa.



Fonte: elaborado pelos autores (2022). Foto: Sumirê Hinata.

A empresa oferece alguns benefícios aos produtores rurais gaúchos, em função de limitações impostas pela legislação, que restringe a compra de terras por empresas estrangeiras. Estudo realizado nos municípios de Barra do Ribeiro e Mariana Pimentel registraram o crescimento da área cultivada com eucalipto de 126,27 km² para 194,87 km² entre 1986 e 2010 (ARAÚJO, 2011).

Outro uso que teve aumento significativo em área na BHLG foi a classe Arroz, que ocupava 143,89km² da bacia em 1985 passando para 245,98km² em 2020, um acréscimo de 70,95%. Os municípios mais representativos foram: Barra do Ribeiro, onde os arrozais abrangiam 81,77 km² em 1985 e ampliaram-se para 122,91 km² em 2020 (aumento de 50,31%), Eldorado do Sul, que passou de 37,41 km² em 1985 para 68,97 km² em 2020 (aumento de 84,34%) e Guaíba com aumento de 36,51 km² em 1985 para 111,34 km² em 2020 (aumento de 204,95%). O avanço das lavouras de arroz se deu principalmente sobre a Formação Campestre e Outras Lavouras Temporárias. Apesar da ampliação da área destinada ao arroz, esse cultivo também cedeu espaço para as lavouras de soja.

Por sua vez, a classe Soja passou a figurar na bacia a partir dos anos 2000, estabelecendo-se com maior intensidade especialmente nos municípios de Barra do Ribeiro e Tapes, ocupando em 2020 áreas de 36,69 km² e 15,76 km², respectivamente, expandindo-se por Guaíba (3,64 km²), Sentinela do Sul (2,15 km²) e



a zona sul de Porto Alegre (1,12 km²), área da capital que possui características rurais e conta com produtores engajados neste cultivo.

A Área Urbanizada teve aumento de 48,79% na BHLG entre 1985 e 2020, com destaque para os municípios de Porto Alegre, Guaíba e Canoas, que possuem as maiores áreas urbanas da bacia. Ainda que Canoas apresente a maior parte de seu território inserido na bacia como Área Urbanizada, vale apontar que houve crescimento da classe associada ao campo em todo o município, pois espécies pioneiras tendem a ocupar áreas degradadas ou desmatadas, mantidas sem ocupação para fins de especulação imobiliária (HOFMANN; MARCOS; HASENACK, 2017).

A zona sul do município de Porto Alegre apresenta uma inusitada confluência de usos que devem se tornar divergentes conforme o avanço de diferentes interesses econômicos. Se por um lado essa área sofre com as intervenções urbanas inerentes à especulação imobiliária, acarretando impactos como impermeabilização do solo, retificação de cursos d'água e problemas de escoamento de canais, que condicionam maior ou menor suscetibilidade a inundações (MOURA *et al.*, 2016), por outro lado pode ser alvo dos interesses do agronegócio. Dentre tantos outros fatores economicamente atrativos, a soja recebe por parte do governo nacional estímulos fiscais (questões tributárias, financiamento, desburocratização de negociações comerciais), além da demanda do mercado internacional de países em crescimento como China e Índia, mais a abertura comercial de países do Leste Europeu (CUIABANO, 2019). A expansão das lavouras de soja deve se consolidar cada vez mais em todos os municípios observados, acompanhando uma tendência nacional.

Uma das coberturas mais importantes em termos de áreas conservadas na BHLG consiste na Formação Florestal, que destaca-se principalmente a porção sul do município de Porto Alegre, onde passou de 157,67 km² para 202,73 km² em área, um aumento de 28,57% em 35 anos.

Uma análise temporal de 1976 a 2002 para todo o Rio Grande do Sul evidenciou o comportamento distinto entre a perda da cobertura natural florestal e a campestre. A cobertura campestre teve 27.350,42 km² convertidos para agricultura, enquanto as regiões florestais apresentaram acréscimo de 3.412,31 km² (CORDEIRO; HASENACK, 2009).

Ainda que a zona sul de Porto Alegre apresente impactos decorrentes da atividade antrópica, como assoreamento e solapamento das margens dos rios e arroios devido à falta de mata ciliar, plantio de culturas, pisoteio de animais e plantações de eucalipto (LEITE *et al.*, 2004), essa região abriga áreas de preservação como o Parque Estadual de Itapuã, que mantém a cobertura vegetal original da região, composta por restingas, florestas e campos, sendo uma das últimas amostras do ecossistema original na



região metropolitana do município (CZYKIEL; ALVES; RITTER, 2015; BERETTA *et al.*, 2008). A porção de Viamão inserida na bacia também apresentou aumento da cobertura Formação Florestal, passando de 101,12 km² em 1985 para 177,20 km² em 2020, um aumento de 75,23%.

Transformações para os cenários futuros

O cenário tendencial resultante do modelo do Dinamica EGO também indica uma mudança substancial de uso e cobertura da terra para os anos 2030 e 2050 (

Tabela 1 e Figura 2). Outras Lavouras Temporárias, Formação Campestre e Outras Áreas não Vegetadas podem perder considerável superfície na bacia com o avanço de outros usos.

Considerando-se que o padrão de evolução dos usos e cobertura da terra de 1985 a 2020 persistam sem nenhum tipo de interferência externa, pode-se presumir que a Formação Campestre sofra a maior defasagem em área, com uma diminuição de 28,53% de 2020 a 2030 e 63,57%, considerando-se o intervalo 2020 a 2050. Seguindo a mesma tendência, o uso Outras Áreas não Vegetadas perderá 17,91% até 2030 e 45,04% até 2050.

Em contrapartida, a Soja avança em ritmo vertiginoso, com aumento de 304,98% de 2020 até 2030 e 400,41% de 2020 até 2050. O Arroz, outro uso agrícola da bacia, avança 27,65% até 2030 e 71,55% até 2050, e a Silvicultura aumenta 10,16% em 2030 e 30,87% de acréscimo em 2050. Embora abarque uma área menor da bacia, a Área Urbanizada tem um crescimento moderado até 2030 (6,90%), avançando para 17,82% em 2050 no modelo proposto.

Apesar de a BHLG abranger Porto Alegre, que é a capital do estado, bem como a sede de municípios importantes da Região Metropolitana, como Canoas, Barra do Ribeiro, Guaíba e Eldorado do Sul, os resultados mostram uma evidente predominância de usos agropecuários.

Usos caracterizados como cobertura natural, como Formação Florestal, Campo Alagado e Área Pantanosa, Afloramento Rochoso, Praias e dunas, e Rios e lagos, tendem a se manter estáveis ou apresentam variações irrisórias.

A Formação Campestre teve a maior extensão em área na bacia desde 1985, mas a perda registrada até 2020 foi substancial. Arroz, Soja e Silvicultura foram os principais usos que avançaram sobre a Formação Campestre. Se não forem adotadas medidas contingenciais para controlar o avanço sobre aquela cobertura, típica do bioma Pampa, as consequências sobre os demais ecossistemas são imprevisíveis. Boldrini (2009) chama a atenção para a descaracterização da paisagem natural dos campos em função da substituição destes pela produção de grãos ou celulose, e ressalta que o uso de agrotóxicos, manejo inadequado e



sobrepastejo de animais, são responsáveis pela destruição do ecossistema natural e implicações sobre o meio ambiente.

Alterações sobre os recursos naturais impactam diretamente sobre os serviços ecossistêmicos, entendidos como as características, funções ou processos ecológicos que contribuem direta ou indiretamente para o bem-estar humano (COSTANZA *et al.*, 1997; MEA, 2005). Nesse sentido, devem ser adotados esforços de conservação sobre os remanescentes de bioma, recuperando e manejando ecossistemas incorporados em terras já antropizadas (ELLIS *et al.*, 2010).

Usos já consolidados e que são fundamentais para a manutenção e bem-estar da sociedade devem ter melhor gestão, com adoção de tecnologias alternativas e maior eficácia, que tragam maior sustentabilidade para o meio ambiente. O uso de agrotóxicos nas lavouras de arroz, por exemplo, pode ser substituído com manejo de recursos naturais, como a adoção da técnica que usa marrecos de Pequim, rizipiscicultura (integração de arroz e peixes) e a biodinâmica (alimentos sem agrotóxicos onde a natureza está em equilíbrio com a produção de forma homeopática) verificadas em Barra do Ribeiro (JESUS; SILVA; LAUX, 2015). O Brasil apresenta perdas além do limite aceitável na produção de soja desde a colheita até o transporte ao destino final (MACHADO *et al.*, 2012; ROMANI *et al.*, 2019), sendo que existem técnicas que podem auxiliar o produtor a ter maior rentabilidade da sua lavoura (SILVEIRA; CONTE, 2013).

Nas áreas de maior urbanização, deve-se prever a redução das descargas orgânicas e de resíduos industriais e urbanos nos corpos hídricos contribuintes da bacia (ANDRADE *et al.*, 2019), além de aumentar a eficiência do tratamento de resíduos.

CONCLUSÃO

Nesse estudo foi possível observar as transformações ocorridas na BHLG no período 1985 - 2020, através de imagens do Projeto Mapbiomas, bem como examinar o cenário tendencial para o futuro próximo de 2030 e 2050, através da modelagem realizada pelo Dinamica EGO. A expansão do uso da terra envolvendo atividades agrícolas foi a principal transformação observada na BHLG até 2020. Arroz, Soja e Silvicultura avançaram sobre a Formação Campestre e sobre Outras Lavouras Temporárias nos últimos 35 anos, consolidando-se na bacia em detrimento de outros usos relacionados à vegetação natural e características do bioma Pampa, e à diversidade de cultivos para provisão da população. Estima-se que essa tendência continue no futuro a uma taxa crescente e preocupante, visto que a área sofrerá impactos substanciais consignados ao uso de agrotóxicos, alta demanda por irrigação, degradação do solo por contaminação e poluição, erosão, diminuição de matéria orgânica, entre outros.



O uso e cobertura destinados à Área Urbanizada também apresentaram variação significativa, compatível com o crescimento urbano inerente à capital Porto Alegre, e a sede dos municípios de Canoas e Guaíba. A expansão da Área Urbanizada apresenta tendência de crescimento moderado, pouco comparado à expansão dos usos Arroz, Silvicultura e Soja.

Ainda que os dados do Projeto Mapbiomas apresentem limitação quanto à resolução espacial em relação à BHLG, permitindo que pequenas mudanças deixem de ser registradas, são dados de elevada acurácia e que possibilitam realizar o monitoramento de um ano para outro, pois as tipologias e as legendas permanecem as mesmas ao longo dos anos, o que não seria possível através de outros tipos de mapeamento.

A análise dessas transformações são fundamentais para o acompanhamento das mudanças de uso e cobertura da terra na BHLG, e pode ser trabalhada em termos de indicadores para o controle dos impactos sobre os ecossistemas, através da avaliação e monitoramento de serviços ecossistêmicos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. C.; RODRIGUES, L. R.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s. l.], v. 24, p. 229–237, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019155281>
- ARAÚJO, R. W. **A Expansão do eucalipto nos municípios de Barra do Ribeiro e Mariana Pimentel - RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.
- BACHI, L.; RIBEIRO, S. C.; HERMES, J.; SAAFI, A. Cultural Ecosystem Services (CES) in landscapes with a tourist vocation: Mapping and modeling the physical landscape components that bring benefits to people in a mountain tourist destination in southeastern Brazil. *Tourism Management*, [s. l.], v. 77, n. May 2019, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.104017>
- BASSO, L.; MOREIRA, L.; PIZZATO, F. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. *Geosul*, [s. l.], v. 26, p. 145, 2012. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2011v26n5p145>
- BASSO, L.A. Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul: implicações ambientais. In: VERDUM, R.; BASSO, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. (Orgs.). **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. 360 p.
- BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 239-247, 2005.
- BERETTA, M. E.; FERNANDES, A. C.; SCHNEIDER, A. A.; RITTER, M. R. A família Asteraceae no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, [s. l.], v. 6, p. 189-216, 2008.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade / Valério De Patta Pillar [et al.]**. Editores. Brasília: MMA, 2009. 403 p.
- BRANCO, T. L.; ALMEIDA, C. M. de; FRANCISCO, C. N. Modelagem Dinâmica Espacial das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ: um Enfoque Sobre Comunidades Tradicionais e Unidades de Conservação. *Revista Brasileira de Cartografia*, [s. l.], v. 74, n. 1, p. 137–158, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/59436>. Acesso em: 13 maio. 2022.
- BRANDON, K., DA FONSECA, G. A. B., RYLANDS, A. B., DA SILVA, J. M. C. Special Section: Brazilian Conservation: Challenges and Opportunities. *Conservation Biology*, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 595–600, 2005. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00710.x>
- CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade / Valério De Patta Pillar [et al.]**. Editores. Brasília: MMA, 2009. 403 p.
- COSTANZA, R.; ARGE, R.; DEGROOT, R.; FARBERK, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; NEILL, R.V.O.; PARUELO, J.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. v. 387, *Nature*. May, p. 253–260, 1997.
- CRUZ, J. S.; BLANCO, C. J. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 811, p. 152348, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348>
- CUIABANO, S. M. Principais fatores responsáveis pela expansão da soja no Brasil. *Brazilian Journal of International Relations*. BJIR, Marília, v. 8, n. 3, p. 460-487, set./dez. 2019. <https://doi.org/10.36311/2237-7743.2019.v8n3.03.p460>
- CZYKIEL, R.; ALVES, T. L. S.; RITTER, M. R. Plantas tóxicas ocorrentes no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul. In: GUERRA, T. (org.). **Conhecer para Gerenciar: Ambiente e Sociedade**. Porto Alegre: Centro de Ecologia/UFRGS, 2015. P. 53-55. 635 p.
- DIB, V.; NALON, M. A.; AMAZONAS, N. T.; VIDAL, C. Y.; ORTIZ-RODRÍGUEZ, I. A.; DANĚK, J.; OLIVEIRA, M. F.; ALBERTI, P.; SILVA, R. A.; PRECINOTO, R. S.; TACIANA FIGUEIREDO GOMES, T. F. Drivers of change in biodiversity and ecosystem services in the cantareira system protected area: A prospective analysis of the implementation of public policies. *Biota Neotropica*, [s. l.], v. 20, n. suppl 1, p. 1–12, 2020. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0915>
- DIPLA/DRH. Inserção de municípios e bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul. Nota Técnica nº 002/2020/DIPLA/DRHS. Divisão de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Departamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2020.
- ELLIS, E.; GOLDEWIJK, K. K.; SIEBERT, S.; LIGHTMAN, D.; RAMANKUTTY, N. Anthropogenic Transformation of the Biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, [s. l.], v. 19, p. 589–606, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>



- FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. Análise do uso e cobertura da terra de três sub-bacias hidrográficas - Rio Grande do Sul/Brasil. *RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física*. Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v2i3.232631>
- GOMES, E.; INÁCIO, M.; BOGDZEVIC, K.; KALINAUSKAS, M.; KARNAUSKAITE, D.; PEREIRA, P. Future scenarios impact on land use change and habitat quality in Lithuania. *Environmental Research*, [s. l.], v. 197, n. April, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111101>
- HINATA, S.S.; BASSO, L. A.; SANTOS, J. G. S. Mapeamento e avaliação dos serviços ecossistêmicos entre 1985 e 2019 na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo (Guaíba/RS). *Sociedade & Natureza*, [s. l.], v. 33, p. 1–14, 2021. <https://doi.org/10.14393/sn-v33-2021-59170>
- HOFMANN, G.; MARCOS, M.; HASENACK, H. Expansão urbana e alterações do uso e cobertura do solo no município de Canoas (Rio Grande do Sul) no período 1984 a 2014. *Revista de Ciências Ambientais*, [s. l.], v. 11, p. 71, 2017. <https://doi.org/10.18316/rca.v11i3.3862>
- JESUS, E. C.; SILVA, M. K.; LAUX, M. H. Manejo da orizicultura com baixo impacto ambiental utilizando marrecos de Pequim, rizipsicultura e biodinâmica na sub-bacia do arroio Ribeiro, Barra do Ribeiro (RS). In: GUERRA, T. (org.). *Conhecer para Gerenciar: Ambiente e Sociedade*. Porto Alegre: Centro de Ecologia/UFRGS, 2015. p. 147-152. 635 p.
- LEITE, S. L. C.; LUZ, M.; LANGE, O.; GUERRA, T. Fisionomia e florística de um remanescente de mata ciliar do arroio Itapuã, Viamão, RS. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 2, n.1, p. 9-22, 2004.
- MACHADO, T.; SANTOS, F. L.; CUNHA, J. P. B.; CUNHA, D. A.; COELHO, L. M. Perdas na plataforma de corte de uma colhedora combinada de grãos na colheita de soja. *Revista Engenharia na Agricultura - Reveng*, [s. l.], v. 20, p. 537–543, 2012. <https://doi.org/10.13083/reveng.v20i6.378>
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em 20 Nov 2021.
- MARTINS, D. P.; GUERRA, T.; ALTMANN, F. Levantamento da situação ambiental da bacia hidrográfica do arroio Passo Fundo como instrumento para a Gestão e Educação Ambiental. *Revista Eletrônica do IBEAS*, v. 1, p. 1-9, 2011. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/VIII-006.pdf>. Acesso em 17 Mai 2022.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: [s. n.], 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx>. Acesso em: 02 mar. 2020.
- MENDOZA-PONCE, A.; CORONA-NÚÑEZ, R. O.; NAVA, L. F.; ESTRADA, F.; CALDERÓN-BUSTAMANTE, O.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; CARABIAS, J.; LARRALDE-CORONA, A. H.; BARRIOS, M.; PARDO-VILLEGAS, P. D. Impacts of land management and climate change in a developing and socioenvironmental challenging transboundary region. *Journal of Environmental Management*, [s. l.], v. 300, p. 113748, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113748>
- MOURA, N. S. V.; MORAN, E. F. Problemas Ambientais Urbanos: questões metodológicas nos estudos geográficos com ênfase na análise geomorfológica e nas mudanças do uso da terra. In: BASSO, L. A.; MOURA, N. S. V.; STROHAECKER, T. M. (org.). *Geografia: dinâmica, conflitos e proposições* [livro eletrônico]. Porto Alegre: wwlivros, 2017.
- MOURA, N. S. V.; MORAN, E. F.; DIAS, T. S.; BORGES, F. F. Expansão urbana sobre compartimentos de relevo suscetíveis à inundação: Zona Sul do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, [S. l.], v. 43, n. 3, p. 299–310, 2016. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78237>.
- NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São José dos Campos: Edgar Blücher, 1989.
- OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S.; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; BARCELLOS, J. O. J. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, [s. l.], v. 63, p. 394–400, 2017. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010>
- OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, B.; BUSTAMANTE, M.; GOMES, L.; OMETTO, J.; RAJÃO, R. Determinants of Fire Impact in the Brazilian Biomes. *Frontiers in Forests and Global Change*, [s. l.], v. 5, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.735017>
- ONU. Organização das Nações Unidas. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 20 Abr 2022.



- OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. P.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: **Campos Sulinos** - conservação e uso sustentável da biodiversidade / Valério De Patta Pillar [et al.]. Editores. Brasília: MMA, 2009. 403 p.
- PARENTE, L.; MESQUITA, V.; MIZIARA, F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 232, p. 111301, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301>
- PETRONI, M. L.; SIQUEIRA-GAY, J.; GALLARDO, A. L. C. F. Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 223, p. 104404, 2022. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104404>
- PRO-GUAÍBA. Programa para o Desenvolvimento Ecologicamente Sustentável e Socialmente Justo da Região Hidrográfica Guaíba. 2005. Disponível em: <http://www.proguaiba.rs.gov.br> >. Acesso em 02 Mai 2022.
- REIS, M.; GRAÇA, P. M. L. A.; YANAI, A. M.; RAMOS, C. J. P.; FEARNESIDE, P. M. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 288, p. 112310, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>
- RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.mprs.mp.br/ambiente/legislacao/id468.htm>. Acesso em 11 Mai 2022.
- RIO GRANDE DO SUL. Plano da bacia do Lago Guaíba. Relatório Final Síntese e SIG. 2016. Disponível em: https://comitedolagogaiba.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Relatorio_Final_Sintese_Rev01_completo-comp.pdf. Acesso em 11 Mai 2022.
- ROCHA, J. **Sistemas complexos, modelação e geosimulação da evolução de padrões de uso e ocupação do solo**. Tese de doutoramento, Geografia (Ciências da Informação Geográfica), Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/6772> . Acesso em 24 Mai 2022.
- RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. Florianópolis: INPE, 2007.
- ROESCH, L.F.W.; VIEIRA, F.C.B.; PEREIRA, V.A.; SCHÜNEMANN, A.L.; TEIXEIRA, I.F.; SENNA, A.J.T.; STEFENON, V.M. The Brazilian Pampa: A Fragile Biome. **Diversity** 2009, 1, 182-198. <https://doi.org/10.3390/d1020182>
- ROMANI, G.; ARENDS-KUENNING, M. P.; SHIKIDA, P. F. A.; GARCIAS, M. O. Perdas na colheita de soja na região oeste do Paraná. **Revista Tecnologia e Sociedade**, [s. l.], v. 15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rts.v15n38.8651>
- SANTOS, E. P.; PIROLI, E. L. 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. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, [s. l.], n. 1, p. 1391–1398, 2015.
- SANTOS, V. M.; ANDRADE, L. C.; TIECHER, T.; CAMARGO, F. A. O. The Urban Pressure Over the Sediment Contamination in a Southern Brazil Metropolis: the Case of Diluvio Stream. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s. l.], v. 231, n. 4, p. 156, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04504-2>
- SEMA. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000 – BCRS25. Versão 1.0 – 2018. Porto Alegre, 2018.
- SILVEIRA, J. M.; CONTE, O. Determinação de perdas na colheita de soja: copo medidor da Embrapa. 1. ed. **Embrapa**: Embrapa Soja, 2013. 28 p. v. 1. E-book.
- SOARES-FILHO, B., PENNACHIN, C., CERQUEIRA, G., 2002. Dinamica - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**. 154, 217-235. 2002.
- SOARES-FILHO, BS; RODRIGUES, H.; COSTA, W. Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto (IGC/UFGM) -Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2009. Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf, Acesso em 09 Mai 2021.
- SPGG/DEE. Departamento de Economia e Estatística da Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. Banco de dados. 2022. Disponível em: <http://deedados.planejamento.rs.gov.br/feedados/>. Acesso em 09 Mai 2022.



STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. ver. ampl. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

TOLEDO, P. M.; VIEIRA, C. G. Antropoceno - o desafio de um novo campo científico interdisciplinar. *In*: VASCONCELOS, S. S.; RUIVO, M. L. P.; LIMA, A. M. M. (org). **Amazônia em tempo**: impactos do uso da terra em diferentes escalas. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 504 p.

VASCONCELOS, S. S.; RUIVO, M. L. P.; LIMA, A. M. M. As Ciências Ambientais e os impactos do uso da terra em diferentes escalas. *In*: VASCONCELOS, S. S.; RUIVO, M. L. P.; LIMA, A. M. M. (org). **Amazônia em tempo**: impactos do uso da terra em diferentes escalas. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 504 p.

WOLDEYOHANNES, A.; COTTER, M.; BIRU, W.D.; KELBORO, G. Assessing Changes in Ecosystem Service Values over. **Land**, [s. l.], v. 9, p. 37, 2020. <https://doi.org/10.3390/land9020037>