



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

## **A EXPANSÃO DA CULTURA DE SOJA NO PAMPA GAÚCHO: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA**

### ***THE EXPANSION OF SOYBEAN CULTURE IN PAMPA GAÚCHO: THE CASE OF THE SANTA MARIA RIVER BASIN***

(Recebido em 22-12-2021; Aceito em 28-03-2022)

**Carina Petsch**

Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil  
Docente da Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, Brasil  
carinapetsch@gmail.com

**Anderson Augusto Volpato Scoti**

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil  
Docente da Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, Brasil  
ascoti2@gmail.com

**Romario Trentin**

Pós-Doutorado em Geografia pela Le Mans Université, França  
Docente da Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, Brasil  
romario.trentin@gmail.com

**Luís Eduardo de Souza Robaina**

Pós-Doutorado na Universidade do Porto, Portugal e na Universidade du Maine, Le Mans/França  
Docente da Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, Brasil  
lesrobaina@yahoo.com.br

**Kátia Kellem da Rosa**

Doutora em Geologia Marinha pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil  
Docente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil  
katiakellem@gmail.com

### **Resumo**

O bioma Pampa vem sofrendo um acelerado processo de substituição da vegetação nativa. Diante disso, o objetivo deste estudo é apresentar a evolução do uso do solo desde 1990 na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM), localizada no centro-oeste do RS, avaliar quais as características ambientais que propiciam ou limitam as lavouras de soja e aplicar métricas de

paisagem. Foram utilizados dados de uso do solo do projeto MapBiomass, hipsometria, declividade, curvatura da vertente, geologia e solos. O cruzamento dos dados e o cálculo das métricas da paisagem ocorreu no QGIS 3.4 e ARC GIS. A cultura da soja foi o uso do solo que mais apresentou crescimento na área, entre 1990-2020, sendo de 2121 km<sup>2</sup>, enquanto houve a diminuição da formação campestre em cerca de 2595 km<sup>2</sup>. Uma área de 1492 km<sup>2</sup> de formação campestre foi transformada em lavoura de soja. As unidades de paisagem mais comum ocupadas pela soja em 2020, são as áreas de Argissolos, na elevação média de 150 m, em relevos planos e muitas vezes próximos aos canais de drenagem principais da BHRSM com vertentes côncavas divergentes. A declividade na Serra do Caverá e os solos rasos do Escudo Cristalino são fatores limitantes para a expansão da cultura. A formação campestre da BHRSM está mais fragmentada devido ao aumento do número de polígonos de soja. Por fim, destaca-se a importância de monitoramento da BHRSM, diante do aumento do preço da saca de soja, o que fomentará o crescimento das lavouras desta cultura.

**Palavras-chave:** Mapas de uso e cobertura do solo; MapBiomass; Glycine max; Transição da paisagem; Métricas da paisagem

### Abstract

*The Pampa biome has been undergoing an accelerated process of replacement of native vegetation. Therefore, the objective of this study is to present the evolution of land use since 1990 in the Santa Maria River watershed (BHRSM), located in the central-west of RS, to evaluate which environmental characteristics favor or limit soybean crops and apply landscape metrics. Land use data from the MapBiomass project, hypsometry, slope, slope curvature, geology and soils were used. The crossing of data and the calculation of landscape metrics took place in QGIS 3.4 and ARC GIS. Soybean cultivation was the land use that showed the greatest growth in the area, between 1990-2020, with 2121 km<sup>2</sup>, while there was a decrease in rural formation by about 2595 km<sup>2</sup>. An area of 1492 km<sup>2</sup> of rural formation was transformed into soybean crop. The most common landscape occupied by soybeans in 2020 are the Argissolos areas, with an average elevation of 150 m, in flat reliefs and often close to the main drainage channels of the BHRSM with diverging concave slopes. The slope of Serra do Caverá and the shallow soils of the Cristalino Shield are limiting factors for the expansion of the culture. The BHRSM grassland formation is more fragmented due to the increase in the number of soybean polygons. Finally, the importance of monitoring the BHRSM is highlighted, given the increase in the price of a sack of soybean, which will foster the growth of this crop's crops.*

**Keywords:** Land use and land cover maps; MapBiomass; Glycine max; Landscape transition; Landscape metrics.

### Introdução

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa de cultivo anual, originária da China e cultivada há muitos séculos (FEHR, 1980). No Brasil, a soja chegou no ano de 1882, no estado da Bahia, para estudos que foram conduzidos por Gustavo Dutra, professor da Escola de Agronomia (BRUM, 1983). Para o Rio Grande do Sul (RS), o cultivo da soja teve início na década de 1950, ocupando majoritariamente a região das Missões, Alto Uruguai e Planalto Médio, principalmente nos locais ocupados pelos imigrantes alemães e italianos (SIEBEN e MACHADO, 2006; PIZZATO et al 2013). Silva e Anjos (2020) destacam que para o RS a soja se concentrava nestas regiões geográficas devido às condições climáticas e agrônômicas favoráveis ao cultivo da leguminosa.

Nos últimos 30 anos, o Brasil tornou-se um dos maiores produtores de soja, isso ocorreu em função da modernização da agricultura que se iniciou em 1950 (KLEIN e LUNA, 2018). Ressalta-se ainda que desde a década de 1960, o cultivo de soja no Brasil era voltado para a exportação (WESZ JUNIOR, 2014). Foi a partir da década de 1970 que a área cultivada com soja passou por um crescimento expressivo no Brasil, de 1,3 milhão para 8,8 milhões de hectares, sendo o Rio Grande do Sul o principal irradiador, depois se propagou para os demais estados da Região Sul, do Centro-Oeste, do Norte e do Nordeste (SIEBEN e MACHADO, 2006; ANHOLETO e MASSUQUETTI, 2014; WESZ JUNIOR 2014).

Destaca-se que historicamente, o estado do Rio Grande do Sul possui uma forte associação com a pecuária, ligada à colonização de seu território, visto que ainda no século XVII, os missionários jesuítas introduziram cavalos e gado na região do Pampa (PILLAR e QUADROS 1997; OVERBECK et al 2009). A pecuária se tornou uma atividade tradicional culturalmente e economicamente (NABINGER et al. 2009; KUPLICH et al., 2018; SILVA e VIANA, 2020) o que se deve à paisagem mais comum ser de campo dominado por gramíneas (BOLDRINI et al 2009). Embora possa parecer simples, trata-se de um ambiente complexo e heterogêneo (BOLDRINI et al 2009; FIGUEIRÓ e SELL, 2020). Os campos com gramíneas naturais asseguram a proteção dos recursos hídricos e solos e a manutenção da flora e fauna (KUPLICH et al., 2016). Contudo, nas últimas décadas, grande parte dos campos nativos foram convertidos em plantações de soja, milho e árvores exóticas (PILLAR et al., 2009).

No que se refere ao bioma Pampa, o fenômeno chamado de sojificação ganhou força na década de 1990, em função das biotecnologias ligadas ao agronegócio e por ter a reputação de ser uma cultura com baixo risco de produção e alto ganho (SALEMBIER, 2016; SILVEIRA et al 2017). Além disso, Silva e Anjos (2020, p. 3) destacam que a “expansão da soja para outras porções do estado do RS está ligada a ascensão do preço da soja, mercado externo favorável, altos subsídios à exportação e queda do preço da carne”.

A partir disso, a produção e área cultivada com soja vem aumentando nas lavouras brasileiras e gaúchas (ANHOLETO e MASSUQUETTI, 2014). Anholeto e Massuqueti (2014) destacam que entre os anos de 1994 e 2010, o Estado gaúcho teve um aumento na produção de soja de 92,6% e crescimento da área plantada de 26,1%. Mais recentemente, de acordo com os dados do Departamento de Economia e Estatística do Governo do RS (2021)<sup>1</sup>, o Estado gaúcho exportou 3.110.856.850 de dólares referente à soja (grão, farelo e óleo).

Diante disso, segundo Hasenack et al. (2019), a principal ameaça ao bioma pampa é a inserção da agricultura:

---

<sup>1</sup> <https://dee.rs.gov.br/agronegocio>

A introdução de uma cultura mais intensiva em uso de insumos e defensivos, originária de condições edafoclimáticas diferentes, sobre um ambiente reconhecidamente sensível em virtude da proximidade do lençol freático da superfície, suscita controvérsias quanto aos riscos de contaminação e outros possíveis impactos ambientais (HASENACK et al 2020, p. 130).

Estudos destacando a inserção da cultura de soja para o bioma Pampa foram desenvolvidos por diversos outros autores (ANHOLETO e MASSUQUETTI 2014; SANTOS et al 2014; BORGES et al 2016; OLIVEIRA et al 2017; SILVEIRA et al 2017; KUPLICH et al 2018; MENGUE et al 2020; SILVA e ANJOS, 2020; SILVA e VIANA, 2020). De forma geral, destaca-se que a expansão da soja representa uma pronunciada problemática ambiental devido à grande quantidade de agrotóxicos utilizados em sua lavoura, o que prejudica outras culturas, como de pomares e hortaliças, assim como a própria saúde humana e a biodiversidade (OLIVEIRA et al 2017; SILVEIRA et al 2017; SILVA e ANJOS, 2020; SILVA e VIANA, 2020).

Diante do apresentado, Mengue et al. (2020) destacam a necessidade de estudos sobre o uso do solo e cobertura da terra (LULC - em inglês) para o bioma Pampa, principalmente nas últimas décadas. Sendo assim, é importante continuar com as pesquisas de monitoramento nas porções do bioma Pampa, sobretudo com a coleção atualizada do MapBiomas que apresenta dados temporais desde o ano de 1985 para a quantificação dos diferentes tipos de LULC (SOUZA et al. 2020). Ademais, os estudos devem abranger diferentes escalas, diante da diversidade paisagística deste bioma (VICKERY et al. 1999; ROESCH et al 2009; BOLDRINI, 2010; HASENACK, 2010). Nesse viés, é importante compreender também quais são as características ambientais das áreas que as lavouras de soja vêm ocupando (MENGUE et al. 2020), bem como sua alteração na paisagem.

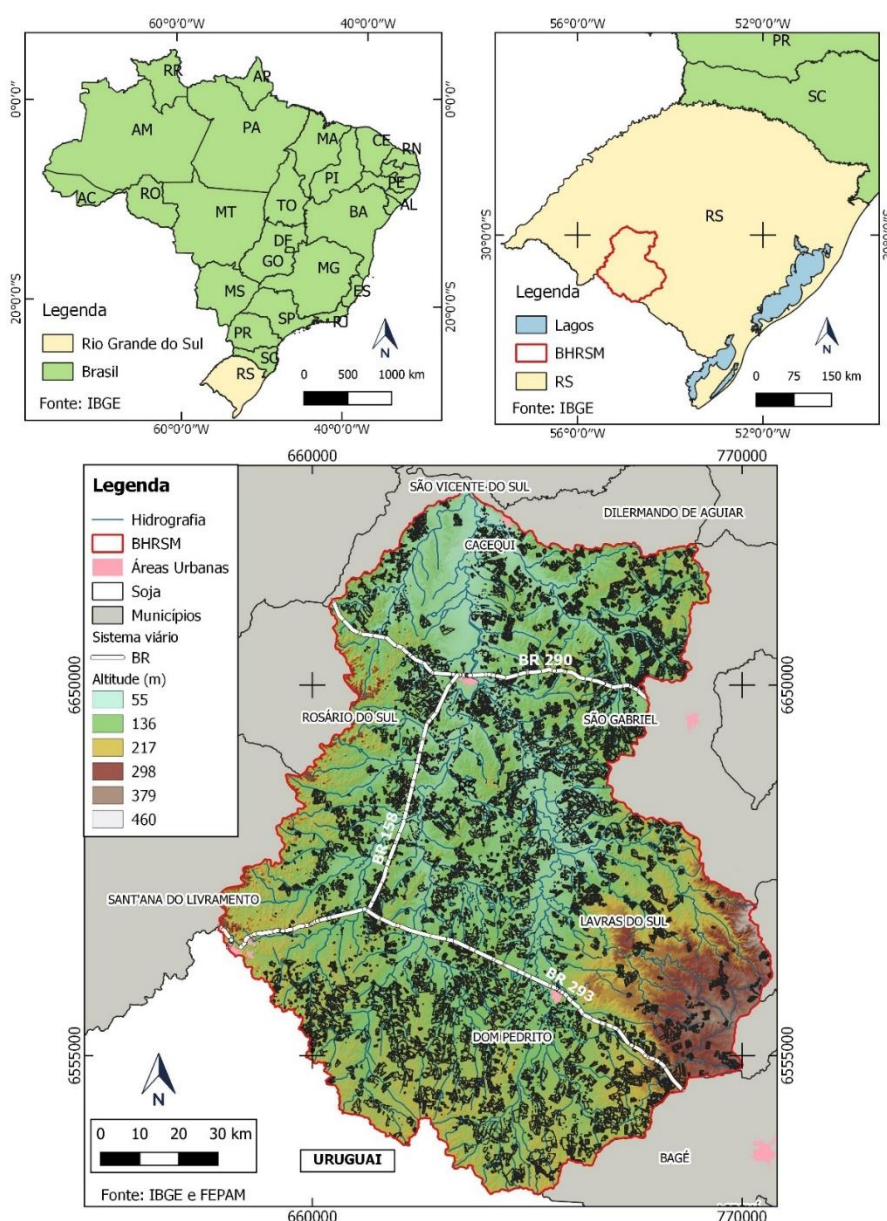
As paisagens são heterogêneas, apresentam padrões espaciais complexos e que são variáveis no tempo, portanto, a análise dessas estruturas compreende algumas métricas, como tamanho, forma, configuração, número e posição dos polígonos de LULC (MCGARIGAL et al 2009; MCGARIGAL, 2013; JUNG, 2016). O avanço do uso de métricas da paisagem tem contribuído para estudos na área da ecologia e da Geografia (COSTANZA et al 2019). Evidencia-se que poucos estudos envolvendo métricas de paisagem voltadas exatamente para avanço da cultura da soja foram encontrados (ARCOVERDE et al 2007; ZYMAROIEVA et al 2021), demandando avanços nessa temática.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é (i) apresentar a evolução do plantio de soja para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria (BHRS), desde 1990; (ii) apresentar dados de transição especificando quais LULC estão sendo substituídos pela cultura de soja; (iii) avaliar quais são as características ambientais que fomentam ou limitam esta lavoura, no que se refere a elevação, declividade, curvatura da vertente, solos e geologia; (iv) apresentar métricas da paisagem.

## Caracterização da área de estudo

O bioma Pampa está localizado entre 34° e 30° de latitude Sul e 57° e 63° de longitude Oeste, abrangendo regiões de planícies e planaltos do Rio Grande do Sul, Argentina e Uruguai. A BHRSM está inserida totalmente dentro deste bioma, possui uma área total de 15.740 km<sup>2</sup>, e está entre as coordenadas geográficas 29°47' a 31°36' de latitude Sul e 54°00' a 55°32' de longitude Oeste (Figura 1). Seis municípios têm parte ou a totalidade de seus territórios inseridos na BHRSM: Cacequi, Dom Pedrito, Rosário do Sul, Sant'Ana do Livramento, São Gabriel e Lavras do Sul.

**Figura 1:** Localização da BHRSM no sudoeste do estado do RS. Destaca-se que os polígonos em preto são as lavouras de soja no ano de 2020.



Fonte: Os autores (2021)



A BHRSM está incluída em três províncias geomorfológicas, sendo elas: Planalto da Campanha, Depressão Central Gaúcha e Planalto Sul-Riograndense (IBGE 1986). Segundo Wildner et al (2006), em termos de litotipos aflorantes, se destacam as sequências sedimentares da Bacia do Paraná, como Formação Piramboia, Rio do Rastro, Sanga do Cabral e Guará. Os depósitos aluviais ocupam cerca de 27% da área da BHRSM.

No que se refere ao relevo da BHRSM, as elevações variam entre 57 m em sua foz e 455 m na porção sudeste. Estas estão no contexto da unidade morfoestrutural do Escudo Cristalino (Figura 1). A classe predominante de declividade é 2 a 5%, seguida pelo intervalo de 5 a 15%. Quanto à curvatura das vertentes, há predominância do tipo côncava-divergente. Segundo Streck et al (2008), os solos predominantes são Argissolos e Planossolos, sendo encontrados Neossolos, Gleissolos, Chernossolos e Luvisolos. Quanto ao uso da terra, predominam as porções de campo, com mais de 50% da área total da BHRSM, segundo Scoti (2017). As tipologias climáticas da área de estudo são: Subtropical I - pouco úmido - e Subtropical II - medianamente úmido – com a temperatura média anual variando de 17 a 20° C e as precipitações ficam em torno de 1.200 – 1.500 mm anuais (ROSSATO, 2011).

## **Materiais e métodos**

### **Banco de dados e escolha das variáveis ambientais**

A base cartográfica utilizada foi extraída da Base Vetorial Contínua do RS, compilada por Hasenack e Weber (2010) na escala de 1:50.000. Os dados de LULC e transição foram extraídos do projeto MapBiomias (Souza et al 2020) para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020. As tentativas de classificação supervisionada com imagens Landsat geraram uma baixa acurácia, sendo assim feita a escolha dos dados MapBiomias. Os arquivos foram baixados no formato \*.tiff utilizando a interface do Google Earth Engine para todo o bioma Pampa. O recorte da área de estudo foi realizado no SIG QGIS 3.4.

A escolha das variáveis geologia e solo ocorreu em função de que na BHRSM o intemperismo das rochas origina solos friáveis e suscetíveis à erosão e não adequados a culturas (HASENACK et al. 2019); enquanto a escolha das variáveis de hipsometria, declividade e curvatura das vertentes se deve à energia do relevo, que pode ocasionar maior desagregação e transporte de materiais em vertentes que concentram o escoamento superficial (ROBAINA et al. 2002; SCCOTI, 2017; RADEMANN et al., 2018).

As informações sobre as litologias foram obtidas a partir dos mapeamentos desenvolvidos pela CPRM (WILDNER et al., 2006). As informações referentes aos solos foram obtidas no mapeamento de Streck et al. (2008). No que se refere às informações sobre relevo, o mapa de declividade e

hipsometria foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir da missão SRTM (90 m), disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. A classificação da declividade seguiu a indicação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), sendo: 0-2%, 2-5%, 5-15% e mais de 15%. A classificação da hipsometria foi realizada em seis classes. Para a obtenção do Plano e Perfil, utilizou-se a ferramenta *curvature* do SIG Arcgis, onde as informações foram geradas em raster, e posterior reclassificação nas quatro curvaturas principais, sendo elas: côncava-convergente, côncava-divergente, convexa-convergente e convexa-divergente.

### **Cruzamento dos dados e obtenção das métricas da paisagem**

A etapa metodológica que envolve a correlação dos dados geomorfológicos (hipsometria e declividade) com os LULC de todo bioma Pampa e o levantamento de métricas da paisagem como número de polígonos segue a proposta de Mengue et al. (2020). Foram extraídos parâmetros estatísticos como os valores máximos, mínimos e médios de elevação e declividade das áreas plantadas com a cultura de soja utilizando a ferramenta Zonal Statistic Table no ArcGIS. Posteriormente, foi realizado um recorte por máscara utilizando um arquivo vetorial da cultura de soja de cada ano para os planos de informação referentes aos dados de geologia, solos e curvatura das vertentes. Em seguida, foi utilizada a ferramenta de estatística de raster por valor único do QGIS 3.4. para a obtenção do valor de área.

A partir do arquivo raster extraído do MapBiomas, utilizando o *plugin* LecoS (Landscape ecology Statistics), desenvolvido por Jung (2016), disponível no QGIS 3.4, foram calculadas as seguintes métricas da paisagem: número de polígonos, área do maior e menor polígono e média de área dos polígonos. Também foram gerados mapas somente com as manchas de soja para 1990, 2000, 2010 e 2020; e para 2020 com as manchas de todos os LULC.

### **Validação dos dados em campo**

Foram realizados trabalhos de campo na BHRSM, durante os anos de 2020 e 2021, onde se coletou pontos utilizando um GPS (Global Positioning System) de navegação, fotografias de câmera comum e obtidas por drone Mavic Air Pro e Mini Mavic. Ressalta-se que as fotografias foram utilizadas somente para ilustração das áreas de transição para a cultura de soja. As informações de Geologia e Solos também foram validadas em campo buscando ajustes das bases cartográficas para fins de adequação das escalas de análise.

## Processamentos estatísticos e análise dos resultados

Foi realizado um cálculo de razão de frequência (Fr) entre as características ambientais e do relevo em relação à área ocupada pelas lavouras de soja. A equação adaptada de Bonham-Carter (1994) é:

$$Fr = (Si/S)/(Ai/A)$$

Onde Ai representa a área ocupada pela classe da variável ambiental “i” dentro da área total da BHRSM (A); Si representa a área de soja na variável ambiental “i”, considerando a área total de cultura (S).

Os valores da razão de frequência (Fr) representam o nível de correlação entre as porções com a cultura de soja e a variável em análise (substrato geológico, solos, hipsometria, declividade e curvatura das vertentes). Assim sendo, para os valores de razão de frequência maiores que 1 (um), a correlação é considerada alta, enquanto valores menores que 1 (um) indicam uma baixa correlação (ESPER ANGUIERI, 2013).

## Resultados

### Variação e transição dos LULC na BHRSM

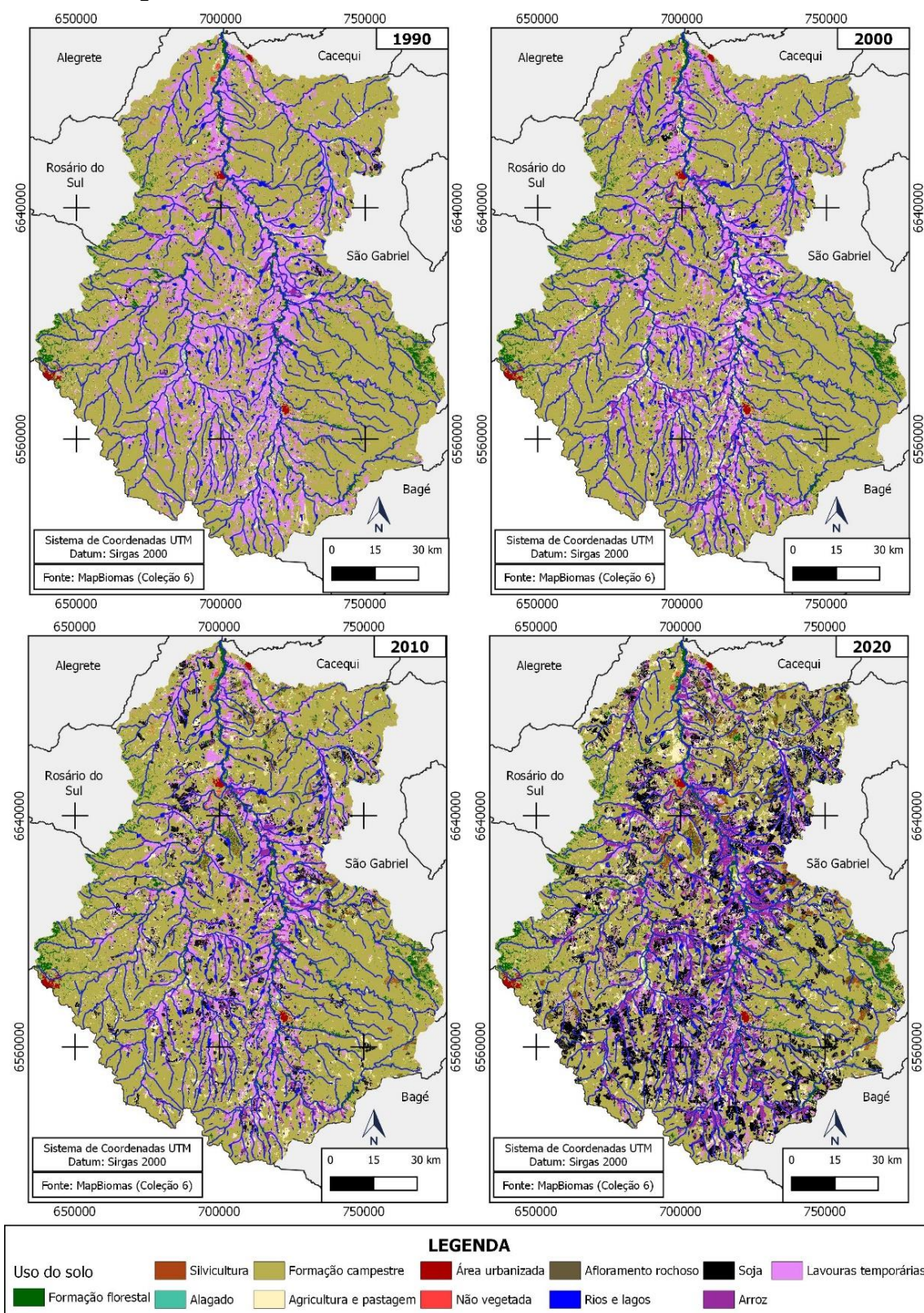
A BHRSM possui onze diferentes LULC, sendo estes: campo alagado e área pantanosa; rios e lagos; área urbanizada; outras áreas não vegetadas; formação florestal; silvicultura; formação campestre; mosaico de agricultura e pastagem; soja; arroz e outras lavouras temporárias (Figura 2).

Em todos os anos tem-se a predominância da formação campestre, vegetação natural do bioma Pampa, porém ocorre diminuição na área, sendo de 10445 km<sup>2</sup> (66%)<sup>2</sup> em 1990 e 7850 km<sup>2</sup> (49%) em 2020 (Figura 3). A silvicultura apresentava a menor área em todos os anos, sendo de 0.021 km<sup>2</sup> em 1990 e em 2010, aumentando para 210 km<sup>2</sup> (1%) em 2020. As lavouras de arroz representavam 123 km<sup>2</sup> (0.78%) da BHRSM em 1990 e 587 km<sup>2</sup> (4%) em 2000; a cultura apresentou redução para 420 km<sup>2</sup> (3%) em 2010 e aumentou para 1266 km<sup>2</sup> (8%), em 2020. A classe referente ao mosaico de agricultura e paisagem possuía em 1990 uma área de 827 km<sup>2</sup> (5%) e, em 2020, aumentou para 1532 km<sup>2</sup> (10%). A classe de outras lavouras temporárias apresentou diminuição, sendo de 3057 km<sup>2</sup> (20%) em 1990 e de 1173 km<sup>2</sup> em 2020 (8%). Finalmente, as lavouras de soja ocupavam 78 km<sup>2</sup> (0.49%) em 1990, 133 km<sup>2</sup> (0.84%) em 2000, em 2010 eram 708 km<sup>2</sup> (4.5%) plantados com a cultura e, em 2020, foram 2199 km<sup>2</sup> (14%). A soja foi o LULC com maior aumento em área para a BHRSM.

<sup>2</sup> Valor de porcentagem em relação a área total da BHRSM

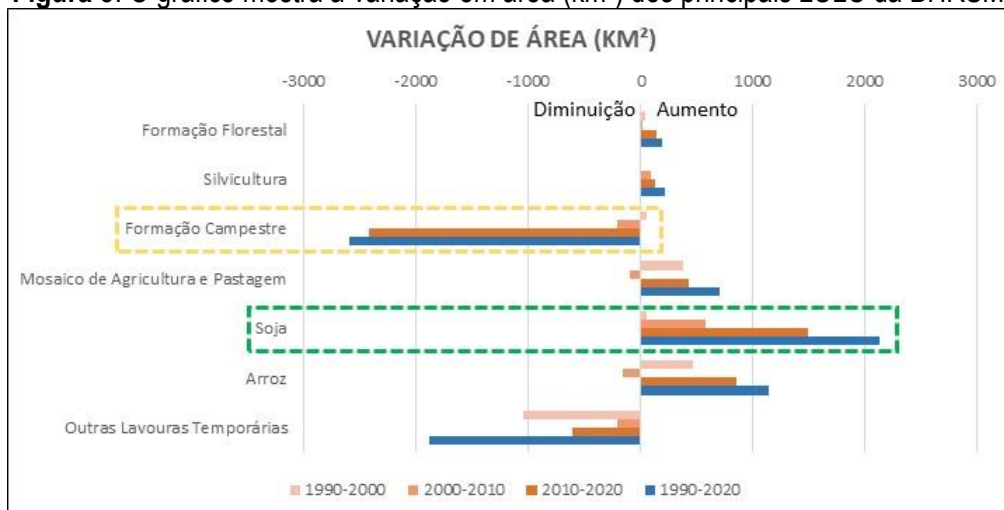


Figura 2: Uso do solo e cobertura da terra na BHRSM, entre 1990 e 2020



Fonte: MapBiomas (Souza et al. 2020).

**Figura 3:** O gráfico mostra a variação em área (km<sup>2</sup>) dos principais LULC da BHRSM.

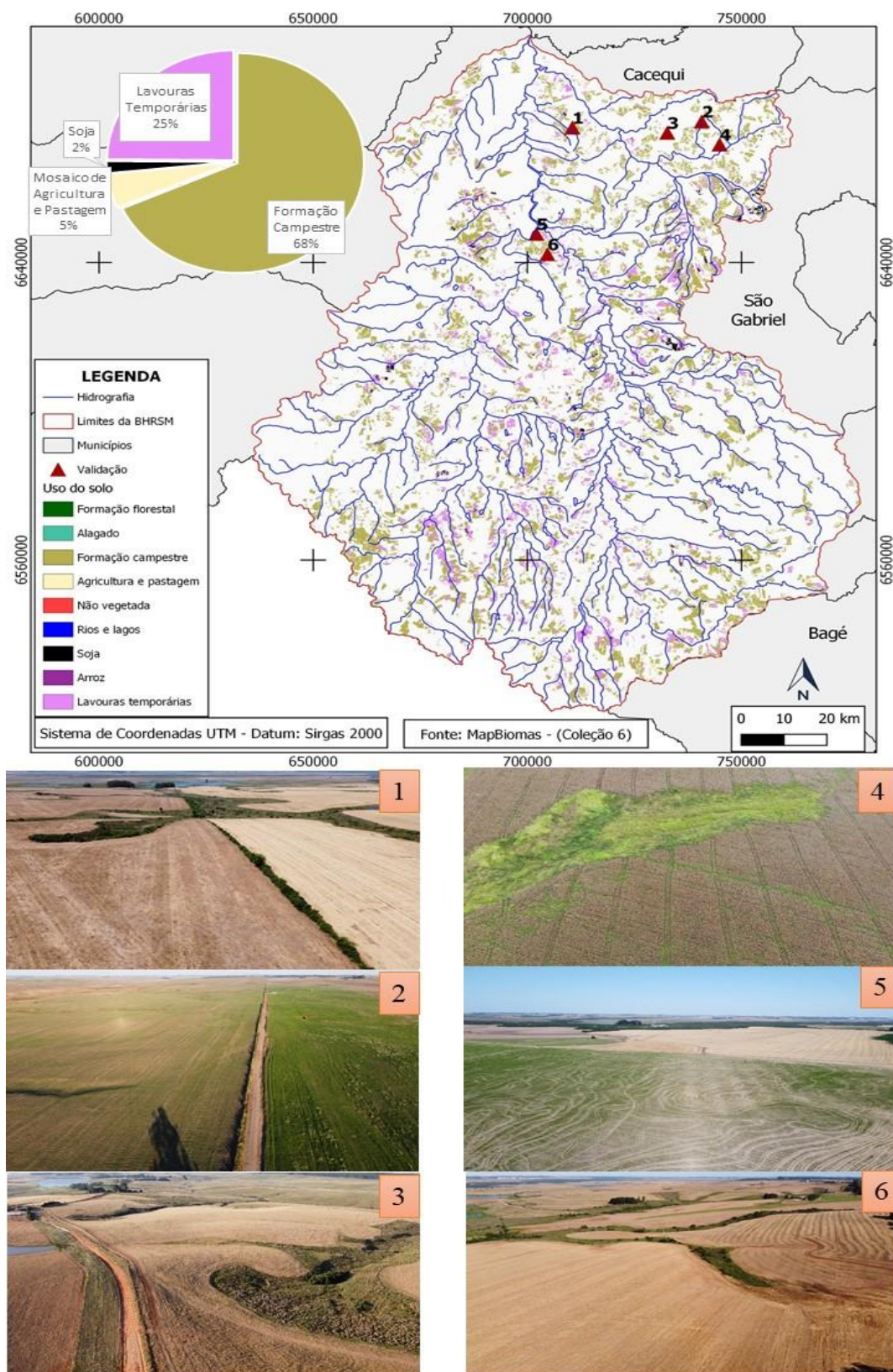


**Fonte:** Os autores

No que se refere aos dados de transição, quanto aos valores brutos de área (km<sup>2</sup>) entre 1990-2020, o LULC que mais perdeu área para a cultura de soja foi a formação campestre (Figura 4 - Fotografias 1, 2, 3, 4, 6), sendo de 1491 km<sup>2</sup>. Cerca de 1 km<sup>2</sup> eram de outras áreas não vegetadas; 2 km<sup>2</sup> eram de formação florestal; 11 km<sup>2</sup> eram da cultura de arroz (Figura 4 - Fotografia 5); 111 km<sup>2</sup> eram de mosaico de agricultura e paisagem (Figura 4 - Fotografia 1, 4, 5); 543 km<sup>2</sup> eram de outras culturas temporárias (Figura 4 - Fotografias 1, 2, 3, 4, 5 e 6) e somente 39 km<sup>2</sup> já eram de soja. Percentualmente, 68% das áreas atualmente ocupadas por soja eram de formação campestre, indicando a substituição da vegetação natural do bioma Pampa. Destaca-se que 25% eram de outras culturas temporárias.



**Figura 4:** Transição nos LULC para a cultura da soja e fotografias de validação dos dados do MapBiomas.

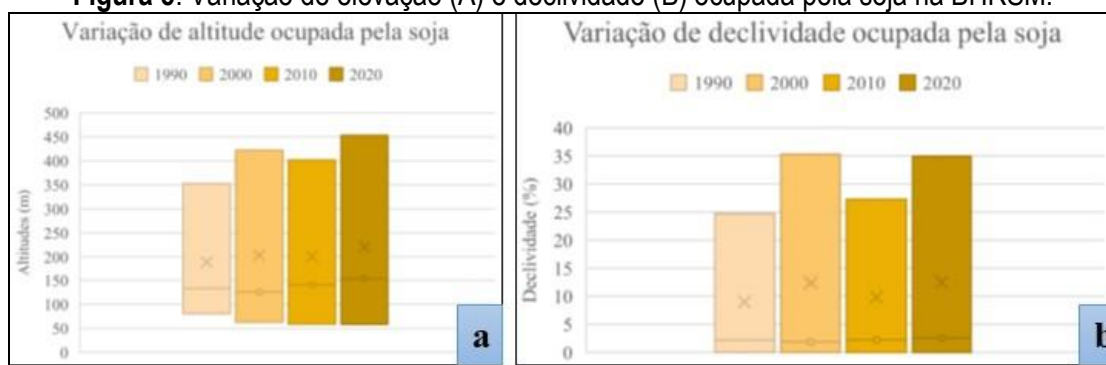


Fonte: Mapbiomas (Souza et al 2020) e autores (2021).

## Soja e características ambientais da BHRSM

No que se refere à média de elevação ocupada pelas lavouras de soja, há um aumento de 133 m, 125 m, 140 m e 153 m, respectivamente para 1990, 2000, 2010 e 2020, indicando que a cultura passou a ocupar porções mais altas da BHRSM. Por sua vez, a variação de elevação ocupada também se amplia. A elevação mínima em 1990 era de 80 m, em 2020 é de 58 m. Quanto à elevação máxima, em 1990 tinha-se 353 m e, em 2020, o valor passou a ser de 453 m (Figura 5-A). Quanto à declividade, ocorreu uma diminuição do valor médio no ano de 2000, porém comparando todo o período temporal, também houve aumento: 2,19%, 1,86%, 2,21% e 2,55%, respectivamente para 1990, 2000, 2010 e 2020. O valor máximo encontrado apresentou aumento, sendo de 24,6% em 1990 e, em 2020, foi de 34,9% (Figura 5-B).

**Figura 5:** Variação de elevação (A) e declividade (B) ocupada pela soja na BHRSM.



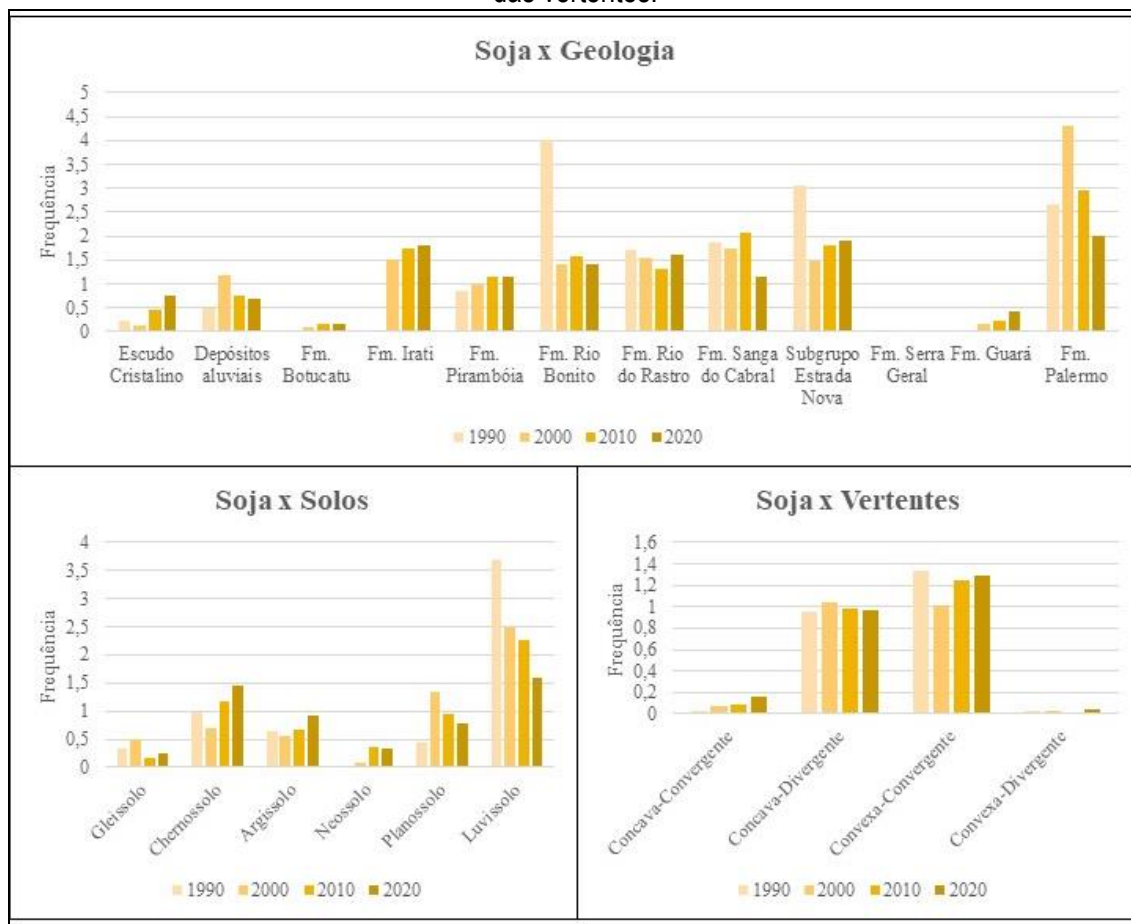
Fonte: Autores (2021)

Quanto à Geologia, em 1990, a soja predominava no Subgrupo Estrada Nova com 18 km<sup>2</sup> e, em 2000, nos depósitos aluviais com 42 km<sup>2</sup>. A predominância da soja em 2010 e 2020 era na Formação Piramboia, respectivamente com 169 km<sup>2</sup> e 531 km<sup>2</sup>. Ainda para o ano de 2020, os depósitos aluviais possuíam 412 km<sup>2</sup> de soja plantada, e o subgrupo Estrada Nova com 310 km<sup>2</sup>. Quanto às vertentes, há predominância em vertentes côncavas-divergentes, com 58 km<sup>2</sup>, 107 km<sup>2</sup>, 538 km<sup>2</sup> e 1.651 km<sup>2</sup>, respectivamente para os anos 1990, 2000, 2010 e 2020. Quanto aos solos, em 1990 havia predominância em Luvisolos (39 km<sup>2</sup>), em 2000 eram em Planossolos (44 km<sup>2</sup>), em 2010 em Luvisolos (216 km<sup>2</sup>) e, em 2020, os Argissolos possuem 742 km<sup>2</sup> de área plantada com soja.

Considerando os valores de frequência (Figura 6), no que se refere à geologia, em 1990 as Fm. Rio Bonito (Fr=4), Rio do Rastro (1,7), Sanga do Cabral (1,86), Subgrupo Estrada Nova (3,06) e Palermo (2,67) possuíam valores acima de 1; enquanto em 2020, as Fm. Irati (Fr=1,81), Piramboia (1,15), Rio Bonito (1,42), Rio do Rastro (1,59), Sanga do Cabral (1,15), Subgrupo Estrada Nova (1,89) e Palermo (2) possuem valores acima de 1, mostrando que a soja se desenvolve em diferentes

substratos geológicos. Quanto aos solos, os Luvisolos se destacam com os maiores valores de Fr sendo 3,69, 2,49, 2,24 e 1,60 para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020, respectivamente. Os Chernossolos apresentaram aumento de Fr de 0,96 para 1,45, de 1990 para 2020, e os Argissolos foram de 0,63 para 0,90. As vertentes Convexa-Convergente predominaram em 1990, 2010 e 2020, respectivamente com Fr de 1,33, 1,25 e 1,29. Em 2000, as vertentes Côncava-Divergente predominavam com Fr de 1,03.

**Figura 6:** Frequência obtida na relação entre a soja e as características de solos, geologia e curvatura das vertentes.

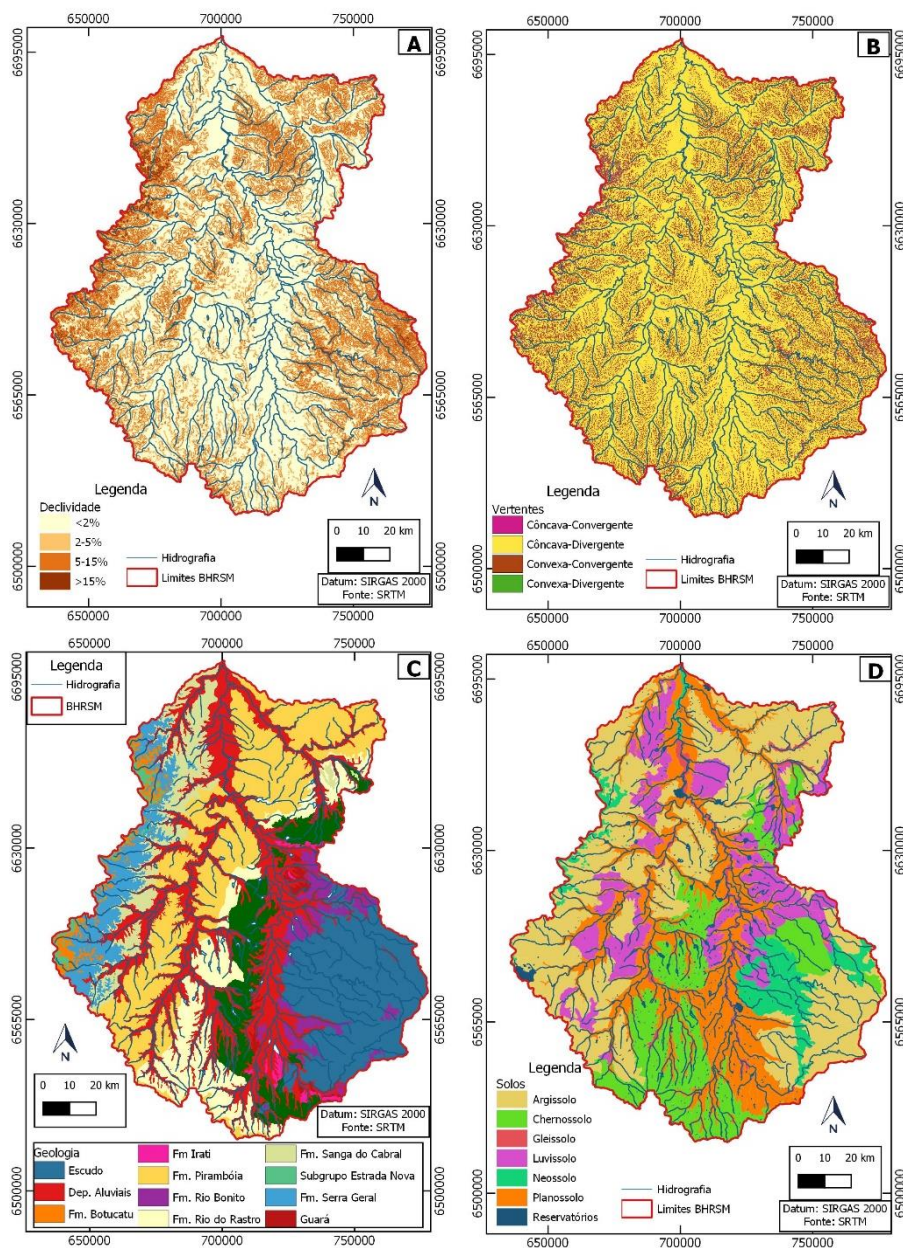


Fonte: Autores (2021).

Especialmente, verifica-se que a cultura da soja se apresenta espalhada pela BHRSM, embora algumas características ambientais sejam limitantes, como a declividade na Serra do Caverá (porção oeste) e as rochas do escudo Cristalino onde os solos são rasos (Figura 7). A paisagem mais comum ocupada pelas lavouras de soja são as áreas de Argissolos, na elevação média de 150 m, em relevos planos, muitas vezes próximas aos canais de drenagem principais da BHRSM.



**Figura 7:** Variáveis ambientais analisadas: (a) declividade; (b) curvatura das vertentes; (c) geologia e (d) solos.



Fonte: Autores (2021)

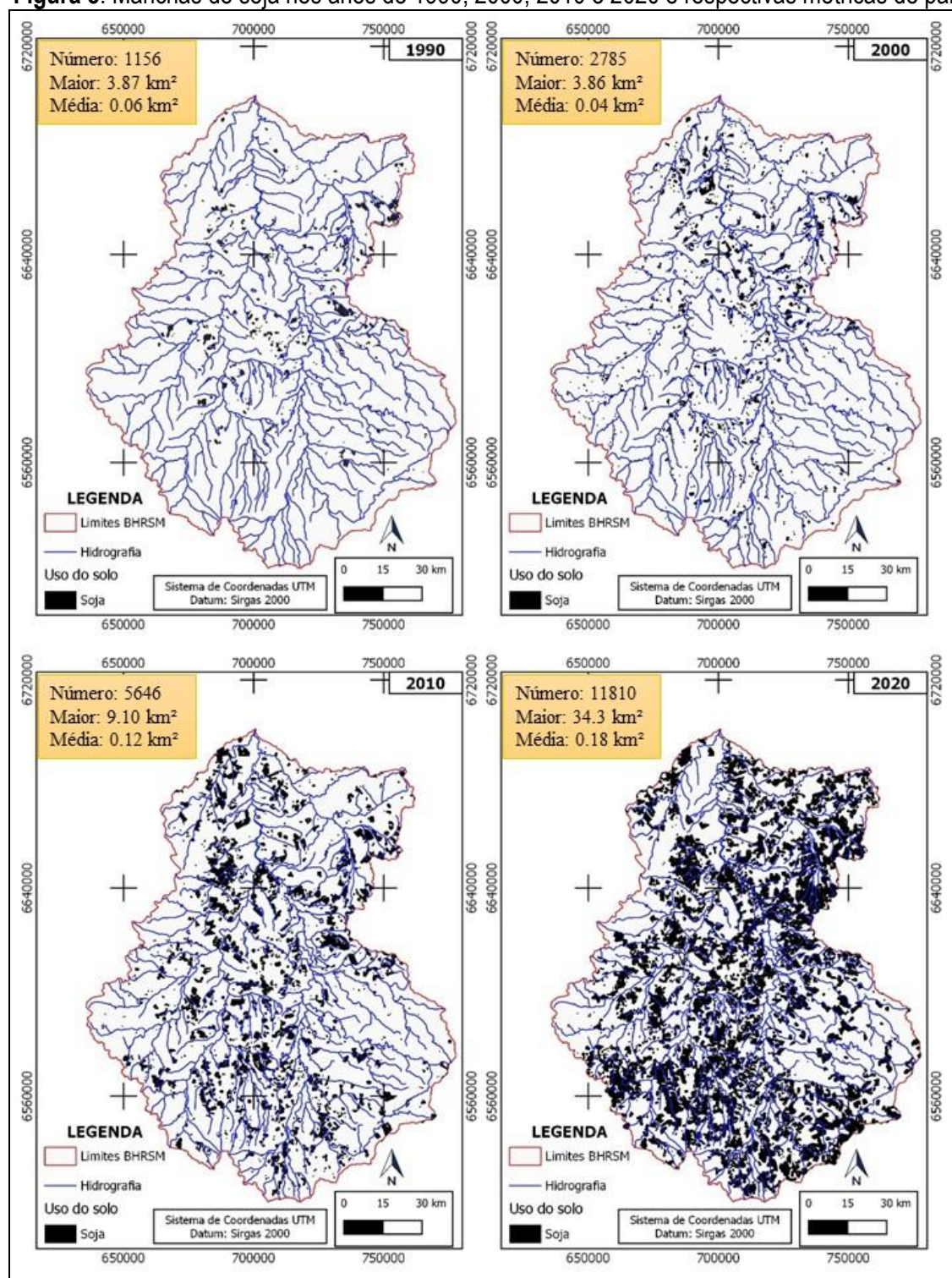
### Métricas da paisagem

Avaliando a métrica de número de polígonos, observa-se a fragmentação de diversas LULC: formação florestal, passando de 10.538 polígonos em 1990 para 14.383 polígonos em 2020; da LULC de formação campestre, sendo de 10.695 polígonos em 1990 e passando para 14.828 em 2020; do arroz que apresentava 1.157 polígonos em 1990 e, em 2020, tinha 2.670 polígonos; de outras lavouras temporárias, passando de 13.826 para 23.801 polígonos, respectivamente para 1990 e 2020; soja em



1990 tinha 1.156 polígonos, e passou a apresentar 11.810 em 2020, o que pode ser observado na Figura 8.

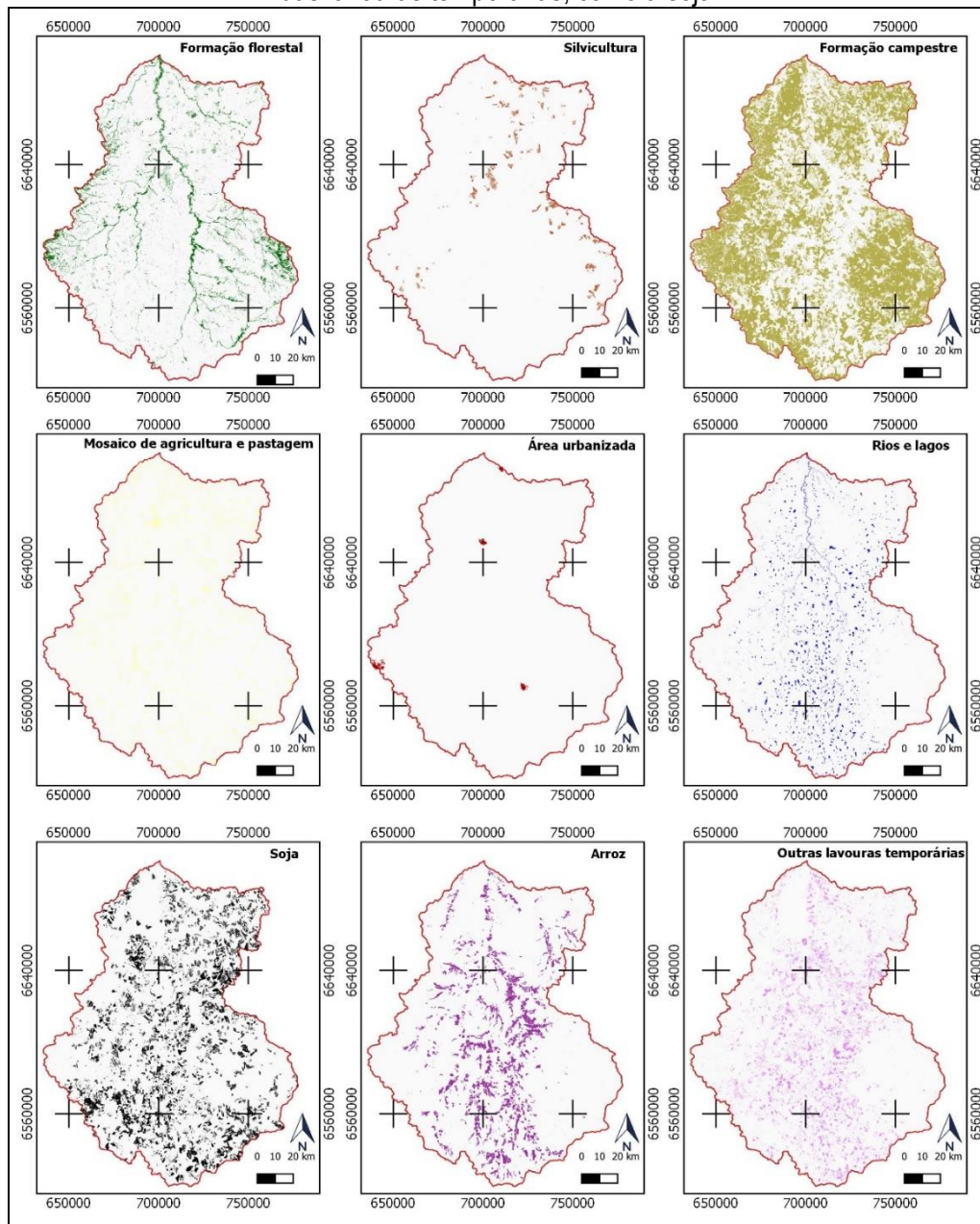
**Figura 8:** Manchas de soja nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020 e respectivas métricas de paisagem.



Fonte: MapBiomias (Souza et al. 2020).

Na métrica de maior polígono encontrado, ocorrem diminuições na formação campestre: passou de 4.520 km<sup>2</sup> em 1990 para 2.871 km<sup>2</sup>, em 2020; e no LULC de outras lavouras temporárias, sendo 93 km<sup>2</sup> em 1990, passando a ter 12 km<sup>2</sup> em 2020. As áreas de soja e arroz aumentam: a soja possuía o maior polígono em 1990, sendo de aproximadamente 4 km<sup>2</sup> e passou para 34 km<sup>2</sup> em 2020; o arroz tinha um polígono de 6 km<sup>2</sup> e passou a ter um de 25 km<sup>2</sup>.

**Figura 9:** Manchas de cada LULC, em 2020, para a BHRSM. Observa-se a fragmentação da paisagem, principalmente pela divisão da formação campestre em porções menores, devido à inserção das lavouras temporárias, como a soja.



Fonte: MapBiomas (Souza et al 2020).



A métrica de tamanho médio dos polígonos mostrou a diminuição dos polígonos de formação campestre, de 0,97 km<sup>2</sup> para 0,52 km<sup>2</sup>, respectivamente para 1990 e 2020; e do LULC de outras lavouras temporárias, sendo em 1990 de 0,22 km<sup>2</sup> e 0,04 km<sup>2</sup> em 2020. O arroz teve aumento, sendo 0,10 km<sup>2</sup> em 1990 e 0,47 km<sup>2</sup> em 2020; a cultura de soja tinha um valor médio de 0,06 km<sup>2</sup> em 1990 e, em 2020, era de 0,18 km<sup>2</sup>. Destaca-se que os valores de menores áreas encontradas sempre coincidiram com o valor de um pixel para todos os LULC.

Observando as manchas de cada LULC em 2020 (Figura 9), percebe-se a fragmentação e dispersão da formação campestre e da cultura da soja, embora haja concentração em alguns setores, o que está ligado a limitações impostas pela declividade e geologia (apresentado anteriormente). Também há fragmentação das outras lavouras temporárias, ocupando polígonos menores e próximos aos canais de drenagem. Os LULC de formação florestal e arroz também seguem a disposição da rede de drenagem. A silvicultura se concentra em grandes manchas, porém desconectadas, e o mosaico de agricultura e pastagens possui áreas reduzidas (Figura 9).

## Discussões

O método adotado com base nos dados disponibilizados pelo MapBiomas (Souza et al. 2020) apresentou boa acurácia de acordo com a maioria dos pontos visitados em campo. Embora alguns pontos apresentassem equívocos, infere-se que seja devido à confusão espectral entre lavouras de soja e arroz, também observada por Mengue et al. (2019) em mapeamento para o bioma Pampa. Para minimizar os erros, o ATBD (Algorithm Theoretical Basis Document) referente ao bioma Pampa, destaca-se que o período escolhido para diferenciação dos alvos de vegetação nativa, lavouras, pastagens com espécies exóticas e silvicultura foi entre setembro a novembro, ou seja, “quando as áreas de cultivo de verão estão em preparação para o plantio, as pastagens cultivadas estão fora de seu pico fotossintético e as pastagens nativas estão no início de rebrota” (TBD, p. 5).

De forma geral, o estudo conduzido para a BHRSM apontou que a soja avançou na área de estudo ocupando, na sua maioria, porções de formações campestres. O resultado vai ao encontro de outros estudos. Silveira et al. (2017) destacam que o aumento do cultivo de soja foi de 1.192.115 ha entre 1990-2015 e Mengue et al. (2020), por sua vez, destacam que entre 2000-2014, a soja teve um aumento de cerca de 145,56% para o bioma Pampa. Outros estudos se referem diretamente à substituição da formação campestre por soja, como Kuplich et al. (2018), que apontam que a área plantada aumentou 188,5% entre 2000 a 2015 nos campos naturais; ainda, Ribeiro et al. (2021), que destacam que apenas 40% do Pampa do Brasil ainda é coberto por vegetação nativa.

A análise das métricas demonstrou a fragmentação da formação campestre da BHRSM ao longo do tempo, causada pela inserção das lavouras temporárias, principalmente pela soja. O número de polígonos de formação campestre aumentou, confirmando a fragmentação da paisagem natural, devido principalmente à soja, que passou a ter também maior número de polígonos, além de aumento no tamanho máximo de polígonos e média de área por polígonos. A fragmentação da paisagem ligada ao aumento de culturas temporárias provoca alterações nos ecossistemas (HADDAD et al. 2015; BOURGOIN et al. 2021). Sobre tudo para o RS, representa uma alteração cultural, já que o Estado tem uma ligação muito forte com a pecuária.

Nessa perspectiva, destaca-se que a degradação no bioma Pampa já é antiga, justamente pela inserção do gado nos campos (ECHER et al 2015), contudo, a transição das formações campestres em outros tipos de LULC são o fator mais marcante de declínio da fauna e flora do Pampa (BENCKE, 2009). Em campo, é possível observar nas imagens capturadas com drones as extensas áreas em que as pastagens estão degradadas pela elevada densidade de bovinos, ovinos e equinos, com a vegetação dispersa e baixa, com a presença de erosão (entre sulcos) e profunda contribuindo para a inserção de outras culturas com maior ganho econômico, como a soja, conforme apontado por Nabinger et al. (2009) e Oliveira et al. (2017). A degradação também pode ser observada a partir do desenvolvimento e expansão de gramíneas invasoras, como é o caso do Capim-Annoni (*Eragrostis plana* Nees), que por ser adaptado a condições severas, como solos de baixa fertilidade e restrições pluviais, se desenvolve sem grandes problemas, sendo altamente competitivo e facilmente inserido em áreas degradadas (DRESSENO et al., 2018).

Ainda sobre a degradação, Hasenack et al. (2019) destacam que os solos possuem baixa aptidão ao uso para culturas temporárias, já que as rochas friáveis dessa porção do RS originam solos frágeis e sujeitos a erosão (ROESCH et al., 2009; ROBAINA et al., 2010; ROBAINA et al., 2015, RADEMANN et al., 2017; RADEMANN et al., 2018) e que podem contribuir para o assoreamento dos canais de drenagem. O avanço tecnológico e a mecanização potencializaram esta disseminação do cultivo de soja para estes contextos da BHRSM antes não tão explorados, como nas porções de rochas friáveis das Formações Geológicas Sanga do Cabral e Pirambóia (Fr superior a 1).

Mengue et al. (2020) salientam o papel da declividade como limitante no plantio da soja. Para a BHRSM, isso também pode ser observado na porção da Serra do Caverá, embora a declividade máxima passou de 24% para 34% nas plantações de soja representando a inserção das culturas em porções mais íngremes. Além da declividade, as litologias associadas ao escudo cristalino também são um fator limitante para a dispersão da soja em toda BHRSM, onde os solos são muito rasos.

Ainda no que tange à questão do relevo, verifica-se que a soja possui uma FR maior em vertentes do tipo Convexa-Convergente, que são estruturas que favorecem a concentração dos fluxos de matéria e energia, fomentando a formação de processos erosivos, concentrados e difusos. Tendo em vista que a soja possui um período vegetativo, em que o solo fica exposto, aliado ao que foi exposto sobre as rochas friáveis da BHRSM, pode haver um incremento no desenvolvimento de ravinamentos e voçorocas.

Além da substituição da formação campestre por lavouras de soja, destaca-se a inserção da silvicultura. A silvicultura voltada à obtenção de celulose está aumentando, em função do retorno econômico, o que contribui para a descaracterização da paisagem natural (BOLDRINI et al. 2009; OVERBECK et al. 2009) e fragmentação, já que em 1990 eram somente três polígonos e, em 2020, eram 1300 polígonos desta cultura. O Estado do RS, em parceria com empresas privadas, fomentou programas de incentivo à expansão da silvicultura, como é o caso do “Poupança Florestal”, que visava o desenvolvimento de municípios a partir da monocultura de espécies arbóreas exóticas (ZARNOTT, 2009).

Ainda que para a BHRSM os dados de transição de LULC para lavouras de soja indicam que somente 10 km<sup>2</sup> (0,49%) eram anteriormente ocupados por arroz, alguns fatores podem contribuir para esta transição no futuro, como o baixo preço do arroz, que acaba impulsionando a substituição desta cultura (SANTOS et al 2014; HASENACK, 2019). Além disso, estudos indicam a expansão da soja para as áreas de várzea no RS (MENGUE et al., 2016; MENGUE et al. 2020), já que a soja possui uma boa capacidade adaptativa ao estresse imposto por uma condição de solo inundado (PIRES et al., 2002), o que novamente está aliada à questão de desenvolvimento biotecnológico e resistência da planta a condições extremas. Conforme visto em campo, às margens do canal principal da BHRSM já são observadas lavouras de soja, no qual inclusive os produtores utilizam das águas fluviais para a irrigação da cultura (Figura 4 - fotografia 5). Atualmente, o arroz que é plantado nas áreas de várzea contribui para a fragmentação da formação florestal, e com a inserção da soja, a paisagem de margem dos canais de drenagem terá aumento no número de polígonos.

Destaca-se que diante da rápida conversão de porções com formação campestre para áreas de silvicultura, soja e outras culturas temporárias, é necessário estabelecer critérios de conservação. O bioma Pampa possui um número muito restrito de unidades de conservação e, segundo Overbeck et al. (2009), apenas a proteção legal pode funcionar e impedir a transformação dos campos naturais em áreas de agricultura ou silvicultura. No Brasil, as áreas de conservação priorizam biomas florestais, mas os campos nativos são tão importantes quanto os demais biomas (NABINGER et al., 2009; OVERBECK et al., 2015). A inserção da soja possivelmente aumentará nos próximos anos, diante do

alto valor atingido pela saca do grão na safra 2020/21. O Departamento de Economia e Estatística do Governo do RS<sup>3</sup> destaca que “as exportações do agronegócio do Rio Grande do Sul atingiram US\$ 4,8 bilhões no terceiro trimestre de 2021, uma alta de 59,5% em valor em relação ao mesmo período do ano anterior”.

Embora, seja mais comum encontrar artigos que avaliam a fragmentação da paisagem para ambientes florestados (ROSA et al., 2017; BOURGOIN et al., 2021), é necessário avaliar todas as classes de LULC, principalmente para o contexto do Pampa, pois é preciso se atentar para os efeitos de borda que causam importantes transformações ecológicas (LAURANCE et al., 2011). Além disso, Souza et al. (2017) destacam que paisagens pouco diversificadas oferecem um potencial reduzido de renda para as populações que ali residem, o que pode causar uma maior concentração de renda. No decorrer do período de 40 anos, verificou-se que o número de classes de LULC permaneceu o mesmo, com tendência de monoculturação. A preservação do bioma Pampa se faz assim uma questão urgente.

### Considerações finais

A pesquisa em questão demonstrou o monitoramento de LULC para a BHRSM, para o período de 1990-2020, com destaque para a expansão da cultura da soja. Os dados apresentados pelo MapBiomas (coleção 6) foram validados em campo e demonstraram boa acurácia diante da diferenciação das lavouras de soja e outras culturas temporárias, em relação ao arroz. Considerando a grande área da BHRSM e a complexidade espectral apresentada por estas culturas, já que possuem a mesma fenologia, algumas tentativas de classificação utilizando métodos supervisionados não haviam resultado em dados com alta acurácia, confirmando a potencialidade do método do projeto MapBiomas no monitoramento ambiental.

Dos 2.200 km<sup>2</sup> ocupados com soja na BHRSM, no ano de 2020, 1.491 km<sup>2</sup> foram implantados no período de 2010-2020. Aproximadamente 70% das áreas com soja em 2020 eram anteriormente de formação campestre. Com o alto valor da saca de soja nas últimas safras, aliada à degradação das formações campestres pelo excesso de gado e o avanço da erosão entre sulcos e em sulcos, a busca por alternativas rentáveis acaba direcionando os agricultores para a inserção da soja em suas propriedades. Somada a estas questões, foi verificado que a cultura da soja tem ocupado cada vez mais contextos variados, principalmente no que se refere à geologia e solos, além de passar a ocupar no relevo porções mais altas e declivosas atreladas à mecanização e desenvolvimento tecnológico. Os

---

<sup>3</sup> <https://dee.rs.gov.br/com-destaque-para-a-soja-exportacoes-do-agronegocio-gaucha-crescem-59-5-no-terceiro-trimestre-de-2021>



fatores ambientais que têm limitado a expansão da soja são a declividade, sobretudo na Serra do Caverá (porção oeste), e solos rasos do Escudo Cristalino (porção sudeste).

De maneira geral, a maior preocupação com atos conservacionistas é em biomas florestais do país e são poucas as áreas de preservação no bioma Pampa, o que é preocupante, já que na BHRSM observou-se uma fragmentação da paisagem, ocasionada justamente pela inserção da soja. Embora, com o passar dos anos, possa haver uma tendência de junção dos polígonos, confirmando um processo de monoculturação e futura homogeneização da paisagem. A análise da paisagem disposta nos mapas de manchas de LULC demonstra que a cultura da soja está criando um cinturão em volta dos principais canais de drenagem e, conseqüentemente, das lavouras de arroz. Considerando que são áreas planas e com solos férteis, o arroz pode vir a ser substituído pela soja nos próximos anos, o que já vem sendo observado em outras porções do Pampa.

Diante do exposto, destaca-se a necessidade de continuidade do monitoramento ambiental da BHRSM para as próximas décadas. O debate pode ser ampliado para questões culturais e também utilizando dados populacionais e econômicos, sobretudo em relação à dinâmica migratória nesses municípios, concentração de renda, desemprego e questões ligadas ao agronegócio. Também se recomenda a continuidade da análise englobando um número maior de métricas da paisagem e avaliando os efeitos de borda.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (processo 19/2551-0001234-9).

### Referências

- ANHOLETO, C. D.; MASSUQUETTI, A. A soja brasileira e gaúcha no período 1994-2010: uma análise da produção, exportação, renda e emprego. *Revista Economia e Desenvolvimento*. v. 13, n. 2, 2014.
- ARCOVERDE, G. F. B.; MAEDA, E. E.; SOARES, D. de M.; FREITAS, C. C.; SANT'ANNA, S. J. S. Uma avaliação da relação espacial do NDVI com áreas de soja mediante métricas da paisagem e técnica amostral. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 43-50.
- BENCKE, G. A. Diversidade e Conservação da fauna dos campos do sul do Brasil. In: PILLAR, V. de P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. de S.; JACQUES, A. V. Á. *Campos Sulinos—conservação e uso sustentável da biodiversidade*, Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2009. p. 101-121. Disponível em <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>>
- BOURGOIN, C.; BETBEDER, J.; LE ROUX, R.; GOND, V.; OSZWALD, J.; ARVOR, D.; BAUDRY, J.; BOUSSARD, H.; LE CLECH, S.; MAZZEI, L. *Looking beyond forest cover: an analysis of landscape-scale predictors of forest degradation in the Brazilian Amazon*. *Environmental Research Letters*, v. 16, n.11, 2021.

- BOLDRINI, I. L.; FERREIRA, P. M. de A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETÚBAL, R. B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E. M. de. *Bioma Pampa: Diversidade florística e fisionômica*. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 64 p.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. de P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. de S.; JACQUES, A. V. Á. *Campos Sulinos—conservação e uso sustentável da biodiversidade*, Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2009. p. 63-77. Disponível em<<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>>
- BONHAM CARTER, G. F. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Oxford: Pergamon, 1994, 391 p.
- BORGES, S. C.; SIMÕES, F. de S. B.; TRINDADE, S. de L. A relação entre a produção de soja e o PIB no município de Dom Pedrito/RS. *Revista Agropampa*, v. 1, n. 2, 2016.
- BRUM, A. J. *Modernização da agricultura no planalto Gaúcho*. Ijuí: FIDENE, 1983.
- COSTANZA, J. K.; RIITTERS, K.; VOGT, P.; WICKHAM, J. *Describing and analyzing landscape patterns: where are we now, and where are we going?* *Landscape Ecology*. 34, p. 2049–2055, 2019.
- DRESSENO, A. L. P.; GUIDO, A.; BALOGIANNI, V.; OVERBECK, G. E. *Negative effects of an invasive grass, but not of native grasses, on plant species richness along a cover gradient*. *Austral Ecology*, 43, 949-954, 2018.
- ECHER, R.; WEYKAMP da CRUZ, J. A.; COSTA ESTRELA, C.; MOREIRA, M.; GRAVATO, F. *Usos da terra e ameaças para a conservação da biodiversidade no bioma Pampa, Rio Grande do Sul*. *Revista Thema*, v. 12(2), p. 4-13, 2016.
- ESPER ANGLIERI, M. Y. *Debris flow susceptibility mapping in a portion of the Andes and Pre andes of San Juan, Argentina using frequency ratio and logistic regression models*. *Earth Sciences Research Journal*, v. 17, n. 2, p. 159-167, 2013.
- ESRI Inc. *ArcMap* (versão 10.4.1). Redlands, Estados Unidos, 2016.
- FEHR, W. R. Soybean. In: FEHR, W. R.; HADLEY, H. H. *Hybridization of Crop Plants*, 1980.
- FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C. *Paisagem e Geoconservação nos Territórios do Pampa Brasil-Uruguai – reflexões para uma política transfronteiriça*. *Ciência e Natura*, n. 42, e47, 2020.
- HADDAD, N. M.; BRUDVIG L. A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R. D.; LOVEJOY, T. E.; SEXTON, J. O.; AUSTIN, M. P.; COLLINS, C. D.; COOK, W. M.; DAMSCHEN, E. I.; EWERS, R. M.; FOSTER, B. L.; JENKINS, C. N.; KING, A. J.; LAURANCE, W. F.; LEVEY, D. J.; MARGULES, C. R.; MELBOURNE, B. A.; NICHOLLS, A.; ORROCK, J. L.; SONG, D. X.; TOWNSHEND J. R. *Habitat fragmentation and its lasting impact on earth's ecosystems*. *Science Advances* 1:e1500052, 2015.
- HASENACK, H.; WEBER, E. J. *Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul. Escala 1:50.000*. Porto Alegre: UFRGS, 2010.
- HASENACK, H.; WEBER, E. J.; BOLDRINI, I.; TREVISAN, R. *Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000*. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia; 2010.
- HASENACK, H.; WEBER, E. J.; VÉLEZ-MARTIN, E.; HOFMANN, G. S.; DEWES, H. *Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável*. In: VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. *Biomas e agricultura: oportunidades e desafios*. Rio de Janeiro: Vertente edições, 2019, 304 p., p. 123-140.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais* (Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguiana e SI.22 Lagoa Mirim). 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1986
- JUNG, M. *LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis*. *Ecological Informatics*, v. 31, p. 18-21, 2016.
- KLEIN, H. S.; VIDAL LUNA, F. *Feeding the World: Brazil's Transformation into a Modern Agricultural Economy*. New York: Cambridge University Press, 2018.

- KUPLICH, T. M.; COSTA, L. F. F.; CARDOSO, M. A. G. *Avanço da soja no bioma Pampa em Aceguá, RS*. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DO PAMPA/III SEMINÁRIO DA SUSTENTABILIDADE DA REGIÃO DA CAMPANHA. 1., 3., 2016, Santa Maria: UFSM, 2016. p. 1-10.
- KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. *O avanço da soja no Bioma Pampa*. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, n. 31, p. 83-100, 2018.
- LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; WILLIAMSON, G. B.; BENITEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H. L.; VAN HOUTAN, K. S.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. *The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation*. Biological Conservation, v. 144, p. 56-67, 2011.
- MCGARIGAL, K. Landscape Pattern Metrics. In EL SHAARAWI, A. H.; PIGORSCH, W. W. *Encyclopedia of Environmetrics*, 2013.
- MCGARIGAL, K.; TAGIL, S.; CUSHMAN, S. A. *Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure*. Landscape Ecology, n. 24, p. 433-450, 2009.
- MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C.; da SILVA, T. S.; ZANOTTA, D.; SCOTTÁ, F. C. *Methodology for classification of land use and vegetation cover using MODIS-EVI data*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, v.23, n.11, p. 812-818, 2019.
- MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C. *Identification of suitable areas for irrigated rice cropping using modis images and hand model*. Engenharia Agrícola, n. 36, p. 329-341, 2016.
- MENGUE, V. P.; FREITAS, M. W. D. de; SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. *Land-use and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data*. Applied Geography, n. 125, p. 1-12, 2020.
- NABINGER, C.; FERREIRA, E. T.; FREITAS, A. K.; CARVALHO, P. C. de F.; SANT'ANNA, D. M.. *Produção Animal com base no campo nativo: aplicação de resultados de pesquisa*. In: PILLAR, V. de P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. de S.; JACQUES, A. V. Á. *Campos Sulinos—conservação e uso sustentável da biodiversidade*, Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2009. p. 175-198. Disponível em<<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>>
- OLIVEIRA, T. E. de; FREITAS, D. S. de; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. do N.; BARCELLOS, J. O. J.. *Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands*, Land Use Policy, v. 63, p. 394-400, 2017.
- OVERBECK, Gerhard Ernst. VELEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; MUELLER, S. C.; CEOTTO, P.; DADALT, L.; DURIGAN, G.; GANADE, G.; GOSSNER, M. M.; GUADAGNIN, D. L.; LORENZEN, K.; JACOBI, C. M.; WEISSER, W. W.; PILLAR, V. de P. *Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems*. Diversity and Distributions, v. 21, n.12, p. 1455-1460, 2015.
- OVERBECK, G. E.; MULLER, S. C.; FIDELIS A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. de P.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Os campos sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V. de P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. de S.; JACQUES, A. V. Á. *Campos Sulinos—conservação e uso sustentável da biodiversidade*, Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2009. p. 101-121. Disponível em<<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>>
- PILLAR, V. de P.; QUADROS F. L.F. *Grassland-forest boundaries in southern Brazil*. Coenoses, n. 12, p. 119-126, 1997.
- PILLAR, V. de P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. *Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 443 p.
- PIRES, J. L. F. P.; SOPRANO, E.; CASSOL, B.. *Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 41-50, 2002.
- PIZZATO, F. *Pampa Gaúcho: causas e consequências do expressivo aumento das áreas de soja*. 106 p. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geografia: UFRGS, 2013.

- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System (versão 3.4). 2021. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.
- RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. *Relação das variáveis ambientais com os processos erosivos no município de Cacequi, Rio Grande do Sul*. Revista Geoaraguaia. v. 8, n. 2, 2018.
- RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. *Relação do substrato litológico com os processos erosivos no município de Cacequi, Rio Grande do Sul*. In: PERES FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). Campinas: UNICAMP - XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física. 2017, p. 6545-6549.
- RIBEIRO, S.; MOREIRA, L. F. B.; OVERBECK, G. E.; MALTCHIK, L. *Protected Areas of the Pampa biome presented land use incompatible with conservation purposes*. Journal of Land Use Science, n. 16:3, p. 260-272, 2021.
- ROBAINA, L. E. de S.; FERNANDES NETO, S.; PAULA, P. M. de; PEREIRA, V. P. *Processo erosivo acelerado no RS: voçorocamento no município de Cacequi*. GEOGRAFIA, v. 27, n.2, p. 109-120, 2002.
- ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; VERDUM, R.; DE NARDIN, D. *Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.11, n.2, p.11-23, 2010.
- ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F.; SCCOTI, A. A. V. *Zoneamento morfolítico da bacia hidrográfica do rio ibicuí e sua relação com processos superficiais e o uso do solo*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 16, n. 1, p. 63-77, 2015.
- 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. n. 1(2), p. 182-198, 2009.
- ROSA, I. M.D.; GABRIEL, C.; CARREIRAS, J. M.B. *Spatial and temporal dimensions of landscape fragmentation across the Brazilian Amazon*. Regional Environmental Change, n. 17, p. 1687–1699, 2017.
- ROSSATO, Máira Suertegaray. *Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia*. 240 p. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.
- SALEMBIER, C., ELVERDIN, J. H.; MEYNARD, J. M. *Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa*. Agronomy Sustainable Development, n. 36, n. 1, 2016.
- SANTOS, J. S. dos; FONTANA, D. C.; SILVA, T. S. F.; RUDORFF, B. F. T. *Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 1, 2014.
- SCCOTI, A. A. V. *Estudo e zoneamento geoambiental com auxílio de sig na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria: sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul*. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2017. 153p.
- SIEBEN, A.; MACHADO, C. A. *Histórico e contextualização sócio-econômica e ambiental da soja (Glycine Max) no Brasil*. Geoambiente On-Line, n. 7, p. 01–18, 2013.
- SILVA, C. S. da; VIANA, J. G. A. *Instituições na pecuária de corte e sua influência sobre o avanço da sojicultura na Campanha Gaúcha - Brasil*. Revista de Economia e Sociologia Rural. v. 58, n. 4, 2020.
- SILVA, M. N. da; SACCO DOS ANJOS, F. *A expansão da soja no município de Jaguarão/RS: análise das percepções através da abordagem narrativa*. Revista de Economia e Sociologia Rural, n. 58(3), e213748, 2020.
- SILVEIRA, V. C. P.; GONZÁLEZ, J. A.; FONSECA, E. L. da. *Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brasil*. Ciência Rural, n. 47(4), 2017.
- SOUZA, A. R.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. *Padrão da paisagem associado ao uso e cobertura da terra em comunidades ribeirinhas e de terra firme situadas no sudoeste do Pará*. GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 42, n. 2, p. 135-164, 2017.
- SOUZA, C. M. JR.; SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L. A.; ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M. G.; FERREIRA, L.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.;

ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. *Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine*. Remote Sensing, n. 12(17), p. 2735, 2020.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.

VICKERY P.D.; TUBARO P.L.; SILVA J.M.C.; PETERJOHN B.G.; HERKERT J.R.; CAVALCANTI R.B. Introduction: Conservation of grassland birds in the Western Hemisphere. In: VICKERY, P.D.; HERBERT, JR. *Ecology and conservation of grassland birds of the Western Hemisphere*. Cooper Ornithological Society Lawrence (Studies in Avian Biology, 19), pp. 2-26, 1999.

WESZ JUNIOR, V. J. *O mercado da soja no Brasil e na Argentina: semelhanças, diferenças e interconexões*. Século XXI: Revista de Ciências Sociais, n. 4(1), p. 114-161, 2014.

WILDNER, W.; RAMGRAG, G. E.; LOPES, R. da C.; IGLESIAS, C. M. da F. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750000. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 2006.

ZARNOTT, A.V. *A proposta de poupança florestal: uma alternativa ou “mais do mesmo” para os agricultores familiares de Canguçu/RS?* 156 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agrossistemas) Programa de Pós-Graduação em Agrossistemas. Florianópolis, 2009.

ZYMAROIEVA, A.; ZHUKOV, O.; FEDONIUK, T.; PINKINA T.; HURELIA, V. *The relationship between landscape diversity and crops productivity: landscape scale study*. Journal of Landscape Ecology, v. 14, n. 1, 2021.