MAPEAMENTO E RANQUEAMENTO DE CAMPOS NATIVOS NO PLANALTO SUL CATARINENSE COM RANDOM FOREST E IMAGENS SENTINEL-2

Regina Luiza Gouvea [1]
Fernanda dos Santos [2]
Kleber Trabaquini[3]

[1] Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: reginagouvea@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0000-0002-9110-2146

[2] Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: fernandasantos@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0009-0008-6292-1186

[3] Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: klebertrabaquini@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0000-0003-4902-4735

RESUMO EXPANDIDO

Do ponto de vista ecológico, as pastagens nativas constituem infraestrutura ecológica essencial da paisagem rural, sustentando elevada biodiversidade campestre e processos ecológicos que não são plenamente reproduzidos por pastagens cultivadas ou sistemas agrícolas intensivos (Overbeck et al., 2022). Esses sistemas desempenham papel relevante na regulação hidrológica, proteção do solo e ciclagem de nutrientes, em função da elevada diversidade funcional da vegetação herbácea e dando maior estabilidade estrutural dos solos associados (Krob et al., 2021). Adicionalmente, apresentam estoques expressivos de carbono no solo, especialmente no compartimento de carbono orgânico abaixo do solo, frequentemente superiores aos observados em áreas convertidas para agricultura ou pastagens exóticas (Machado et al., 2024; Villela et al., 2026). Em escala de paisagem, as pastagens nativas atuam como elementos estruturantes da matriz territorial, contribuindo para a conectividade ecológica e a manutenção de serviços ecossistêmicos, em contraste, sua conversão para usos intensivos resulta em perda de complexidade ecológica e comprometimento dessas funções (Ríos et al., 2022).

No estado de Santa Catarina, os campos ocorrem predominantemente no planalto associado aos derrames basálticos da Serra Geral e ao Planalto Sedimentar, em altitudes superiores a 1.000 m, formando o que Klein denomina Campos do Planalto (Brandt, 2012). Nessa região, a vegetação pode apresentar elevada similaridade espectral, o que dificulta a discriminação entre diferentes tipologias de campo em imagens de sensoriamento remoto.

Nas imagens orbitais, campos cultivados tendem a apresentar textura mais homogênea, aspecto liso e tonalidades de verde mais uniformes durante o pico do ciclo vegetativo, enquanto campos nativos exibem maior heterogeneidade estrutural, textura rugosa e variação de tons de verde. Nesse contexto, o uso de dados multiespectrais contribui para a discriminação da cobertura da terra, uma vez que a ampla faixa de comprimentos de onda permite melhor caracterização dos alvos

terrestres (Rauf, Tan & Loh, 2024). Além disso, a combinação de múltiplas bandas espectrais com índices derivados e outras fontes de dados têm demonstrado aumento na acurácia das classificações (Papadopoulos, Koukiou & Anastassopoulos, 2024).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo identificar os municípios do Planalto Sul Catarinense com maior área de pastagem nativa, por meio de classificação supervisionada utilizando o classificador *Random Forest e* bandas espectrais do Sentinel-2, índices de vegetação e métricas de textura, visando maior aderência à verdade terrestre.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O Planalto Sul Catarinense (Figura 1) localiza-se na porção centro-sul do estado de Santa Catarina, inserido no domínio das formações campestres do sul do Brasil, em transição com o Cerrado, na região norte, nas proximidades de Ponta Grossa (PR), e com os Pampas sul-americanos, ao sul (IBGE, 2012). Segundo Klein (1978), predominam nessa área formações campestres intercaladas por capões florestais, florestas ciliares e bosques de araucária, caracterizando paisagens campestres classificadas como "campos limpos", com variações para "campos sujos" em função da maior ou menor densidade de arbustos e elementos lenhosos.

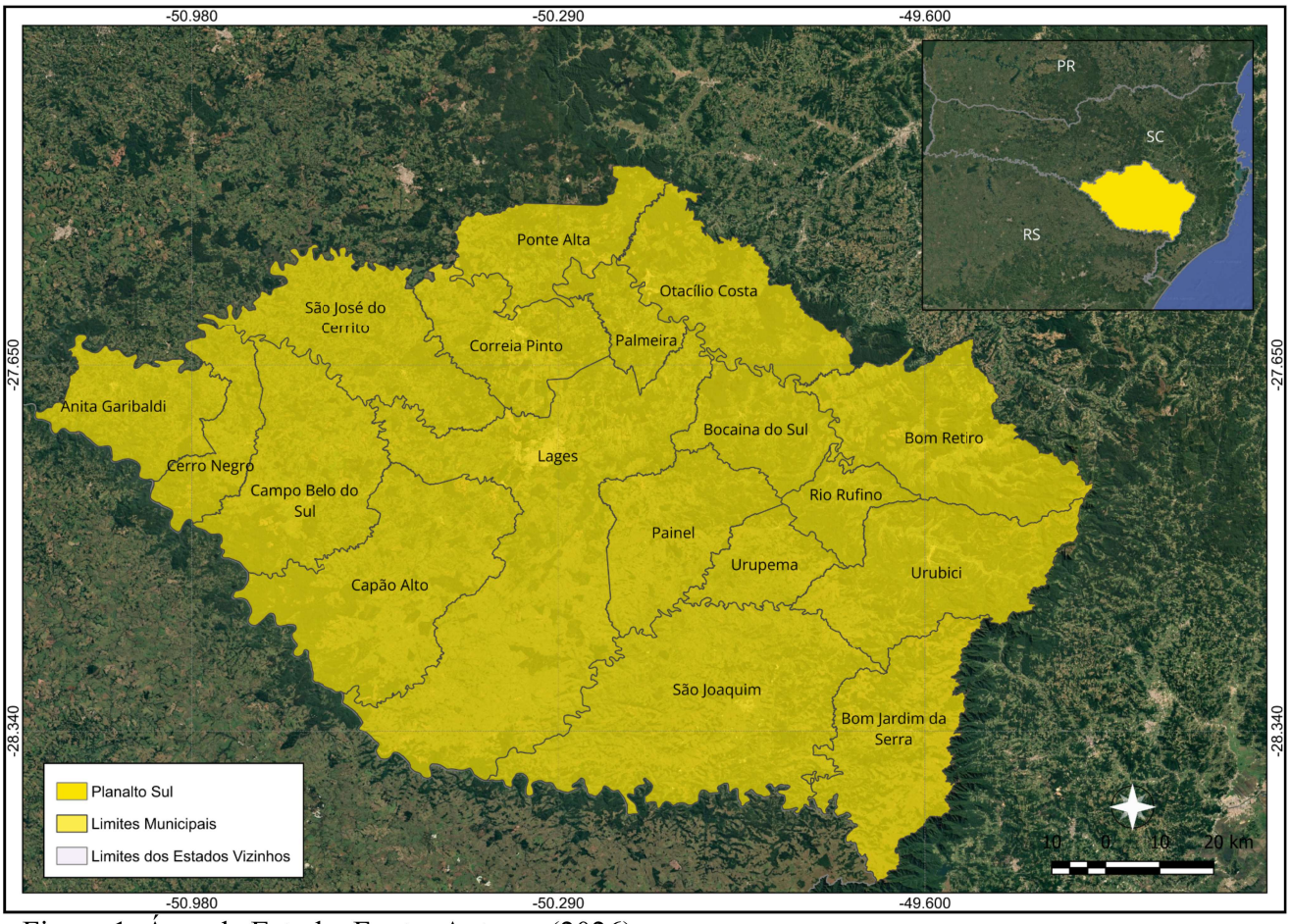


Figura 1. Área de Estudo. Fonte: Autores (2026)

MÉTODOS

O ranqueamento dos municípios com maior área de campos nativos no Planalto Sul Catarinense foi realizado a partir do mapeamento de pastagens nativas. Inicialmente, foi conduzida análise de separabilidade espectral entre pastagens nativas e cultivadas, com o objetivo de identificar o período de melhor discriminação.

O mapeamento foi executado no *Google Earth Engine*, com imagens Sentinel-2 (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED, 10 m), por meio do classificador *Random Forest* (200 árvores). Foram utilizadas 6.000 amostras (2.000 por classe: pastagem nativa, pastagem cultivada e vegetação densa), divididas em 70% para treinamento e 30% para validação. O desempenho do modelo foi avaliado por matriz de confusão e acurácia global. Para a validação, foram utilizadas 324 amostras de pastagens, sendo 193 de pastagens nativas e 131 de pastagens cultivadas. A validação baseou-se em pontos vetoriais com classes de referência obtidas em campo, os quais foram sobrepostos a três mapas raster classificados gerados a partir de diferentes conjuntos de variáveis.

Foram testadas três combinações de variáveis preditoras: (i) bandas espectrais, (ii) bandas + índices NDVI e EVI e (iii) bandas + índices + métricas de textura do NDVI (GLCM, janela 5×5), conforme apresentado na Tabela 1. Após a classificação, aplicaram-se filtros de moda e sieve para redução de ruído espacial na classificação que apresentou o melhor resultado.

Tabela 1. Visão geral das três abordagens para a classificação das pastagens nativas e cultivadas. Fonte: Autores (2026).

Variáveis preditoras	***Tipo de informação modelada***
Bandas espectrais Sentinel-2	Assinatura espectral pura
Bandas + NDVI + EVI	Espectro + vigor da vegetação
Bandas + NDVI + textura do NDVI (GLCM)	Espectro + vigor + estrutura espacial

Krivoguz et al. (2023), destacam em seu estudo as dificuldades na separação de classes com assinaturas espectrais próximas, especialmente em áreas agrícolas e classes de vegetação. Portanto, além da escolha do algoritmo, a seleção adequada de variáveis espectrais e o tratamento espacial dos dados exercem papel importante na redução de erros de classificação, especialmente entre classes espectralmente semelhantes.

RESULTADOS

O resultado espacial (Figura 2) a partir da abordagem dos três modelos de classificação supervisionada das pastagens no Planalto Sul Catarinense, distinguindo principalmente duas classes temáticas: pastagens cultivadas (verde) e pastagens nativas amarelo). A distribuição espacial observada evidencia um padrão heterogêneo da paisagem campestre regional, indicando diferentes níveis de conservação e transformação antrópica entre os municípios do Planalto Sul. Visualmente, observa-se predominância das áreas classificadas como pastagens nativas na porção centro-sul e sudeste da área de estudo, especialmente nos municípios de Bom Jardim da Serra, São Joaquim, Painel, Urupema e parte de Lages. Essas áreas apresentam manchas contínuas e relativamente extensas em amarelo, sugerindo maior permanência da matriz campestre original e menor grau de conversão do uso da terra. Tal padrão pode estar relacionado às características geomorfológicas e

climáticas dessas áreas de maior altitude, onde ainda persistem remanescentes expressivos dos Campos do Planalto associados à pecuária extensiva tradicional. Por outro lado, nas porções norte, nordeste e oeste do recorte espacial observa-se maior predominância de áreas verdes, indicando maior ocorrência de pastagens cultivadas e outros usos associados à intensificação produtiva. Municípios como Otacílio Costa, Correia Pinto, Ponte Alta, Bocaina do Sul e Rio Rufino apresentam paisagens mais fragmentadas, com redução da continuidade dos campos nativos. Esse padrão espacial sugere forte influência histórica da conversão do campo nativo para silvicultura com Pinus e Eucalyptus, agricultura mecanizada e expansão da fruticultura, especialmente maçã, conforme discutido no texto do trabalho. Outro aspecto relevante observado na figura é a configuração espacial da fragmentação. Em áreas onde predominam pastagens cultivadas, os remanescentes de campo nativo aparecem mais dispersos e descontínuos, indicando possível perda de conectividade ecológica. Já nas áreas centrais e sulinas, os campos nativos formam mosaicos mais contínuos, potencialmente mais favoráveis à manutenção da biodiversidade campestre, dos estoques de carbono no solo e dos serviços ecossistêmicos associados. Esse comportamento espacial reforça a interpretação de que o percentual de pastagem nativa constitui importante indicador de integridade ecológica da paisagem regional. Entretanto, a Figura 2 também evidencia algumas limitações inerentes, em determinadas áreas observa-se mistura espacial entre classes, especialmente em zonas de transição entre campos nativos e cultivados, podendo estar associados a elevada similaridade espectral entre formações campestres, elevada similaridade espectral entre formações campestres, influência sazonal da fenologia da vegetação, ou até mesmo a presença de campos em diferentes estágios de manejo.

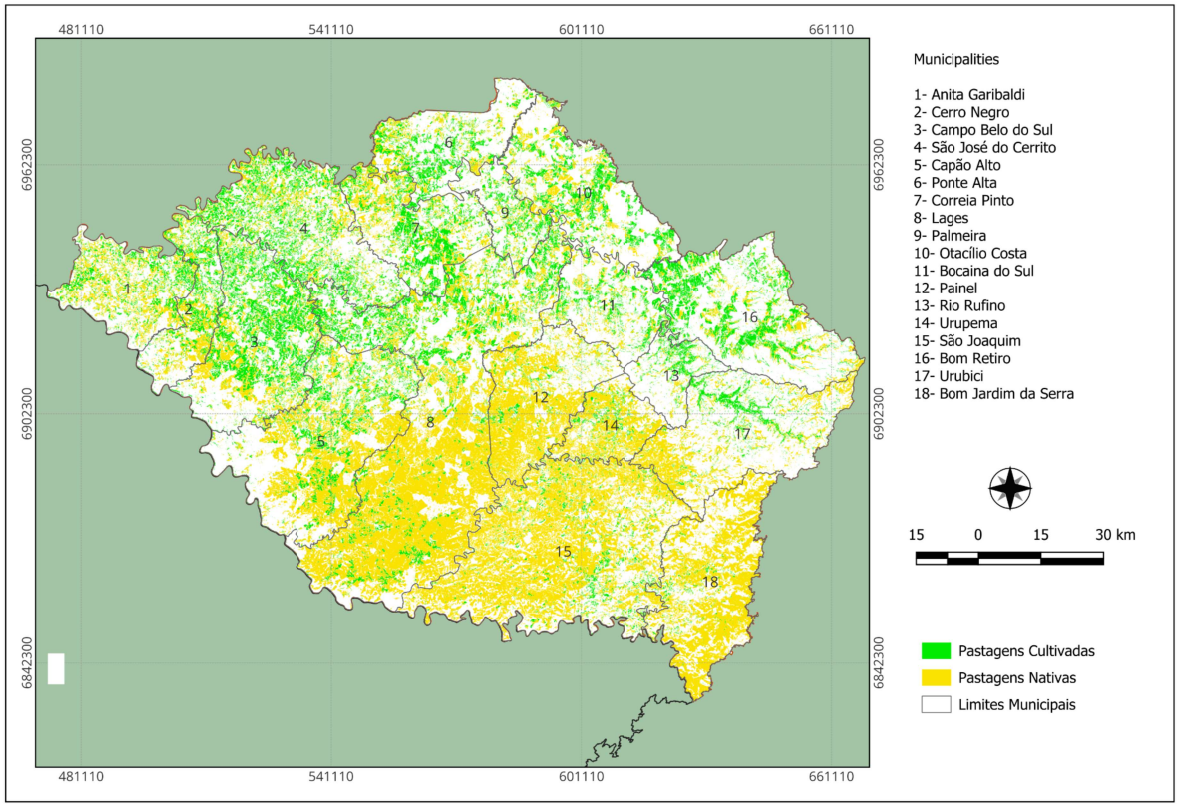


Figura 2. Resultado Espacial. Fonte: Autores (2026)

O resultados da análise do percentual de pastagem nativa (Figura 3) evidencia forte heterogeneidade entre os municípios do Planalto Sul, revelando distintos graus de conservação da matriz campestre. Municípios como Bom Jardim da Serra (51,9%), Painel (49,6%), São Joaquim (49,4%), Urupema (47,8%) e Lages (45,0%) apresentam os maiores percentuais relativos, indicando paisagens onde as pastagens nativas permanecem como componente dominante do uso do solo. Esse padrão reflete menor intensidade histórica de conversão para sistemas agrícolas intensivos ou pastagens cultivadas, favorecendo a manutenção de processos ecológicos associados aos ecossistemas campestres. A combinação entre alto percentual de pastagem nativa e grande extensão territorial, observada especialmente em Lages (2.637,7 km²), São Joaquim (1.888,6 km²) e Bom Jardim da Serra (938,5 km²), potencializa o papel ecológico desses municípios em escala regional. Nesses territórios, a elevada representatividade relativa associada a grandes áreas absolutas amplia a capacidade de manutenção da conectividade ecológica, da biodiversidade campestre e dos estoques de carbono no solo, configurando núcleos estratégicos para a integridade da paisagem do Planalto Sul. Destaca-se ainda Urupema, que, apesar de sua menor área territorial (350,5 km²), apresenta percentual elevado de pastagem nativa, evidenciando que a proporção do uso do solo é um indicador mais sensível do estado de conservação do que a área municipal isoladamente.

Em contraste, municípios como Rio Rufino (8,9%), Bom Retiro (11,4%), Bocaina do Sul (13,3%), Palmeira (13,3%), Ponte Alta (15,1%) e Otacílio Costa (15,6%) apresentam baixa representatividade percentual de pastagens nativas, indicando paisagens mais intensamente convertidas e estruturalmente simplificadas. No Planalto Sul Catarinense, a consolidação da cadeia produtiva da maçã, especialmente a partir das décadas de 1970 e 1980, promoveu a conversão de áreas campestres para pomares comerciais, alterando de forma estrutural a matriz da paisagem em municípios como São Joaquim, Bom Retiro, Urupema e Rio Rufino (EPAGRI, 2018; IBGE, 2023). Em municípios como Otacílio Costa, Ponte Alta e Correia Pinto, a substituição de campos nativos por florestas plantadas de Pinus e Eucalyptus representa um dos principais vetores de perda de pastagens nativas, intensificado nas últimas décadas (Vibrans et al., 2013; MAPBIOMAS, 2023).

Esses processos de conversão resultam em simplificação estrutural da paisagem e fragmentação dos ecossistemas campestres, comprometendo tanto funções ecológicas quanto sistemas produtivos tradicionais dependentes do campo nativo, como evidenciado para o Planalto Serrano Catarinense no contexto da produção do Queijo Artesanal Serrano (Trabaquini et al., 2019).

Mesmo quando associados a áreas territoriais intermediárias, esses baixos percentuais limitam a função ecológica das pastagens nativas em escala de paisagem, aumentando a dependência de estratégias de restauração e de instrumentos econômicos de incentivo.

Assim, os resultados indicam que o percentual de pastagem nativa pode ser classificado como um indicador-chave para a priorização territorial de políticas de conservação e de manejo sustentável da paisagem rural, por refletir de forma mais sensível o grau de integridade ecológica do território do que a extensão territorial municipal isolada.

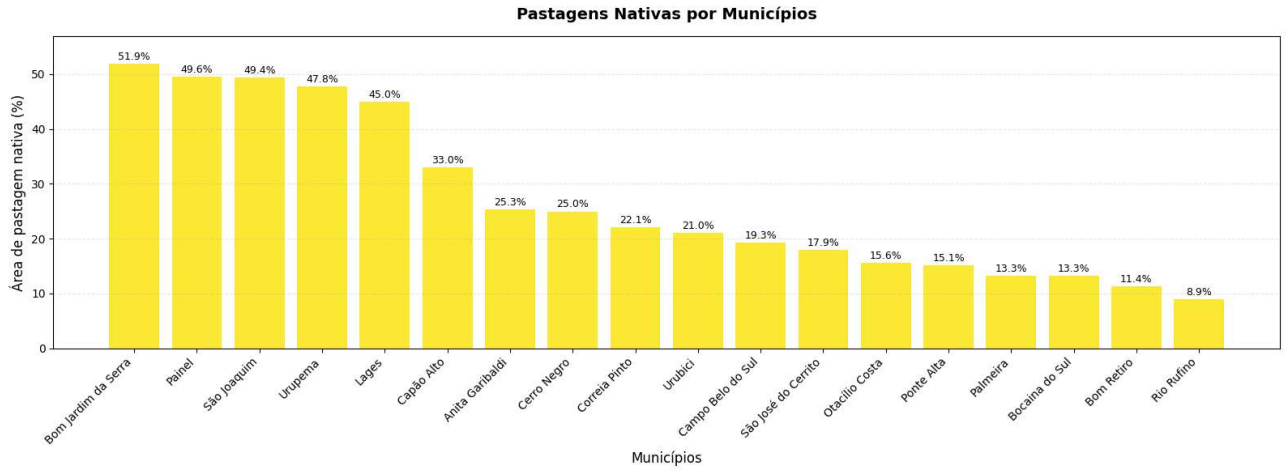


Figura 2. Ranking dos municípios do Planalto Sul com maior proporção de pastagens nativas. Fonte: os autores (2026)

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o percentual de pastagens nativas pode constituir um indicador do estado de conservação e da integridade ecológica da paisagem no Planalto Sul Catarinense. A expressiva variação observada entre os municípios reflete distintas trajetórias de uso e ocupação do solo, evidenciando que territórios com maior representatividade relativa desses ecossistemas tendem a manter maior conectividade, complexidade estrutural e provisão de serviços ecossistêmicos, independentemente da área municipal total. Por outro lado, baixos percentuais de pastagens nativas estão associados a paisagens mais intensamente convertidas e fragmentadas, com perda de funções ecológicas em escala de paisagem, reforçando a relevância de abordagens territoriais baseadas em indicadores percentuais para subsidiar análises comparativas e o planejamento ambiental voltado à conservação e ao manejo sustentável das pastagens nativas.

PALAVRAS-CHAVE

Sensoriamento Remoto; Classificação Supervisionada; Google Earth Engine; Pastagens Nativas; Índices de Vegetação.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), que financiou a pesquisa e concedeu bolsa de estudo a um dos autores. Os autores também agradecem à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a execução dos projetos.

REFERÊNCIAS

Brandt, M. (2012). Uma história ambiental dos campos do planalto de Santa Catarina [Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina]. Florianópolis, SC.

EPAGRI. (2018). A cultura da maçã em Santa Catarina. Epagri.

IBGE. (2012). Manual Técnico da Vegetação Brasileira (2. ed.). IBGE.

IBGE. (2023). Produção Agrícola Municipal – PAM. IBGE.

Kasahun, M., & Legesse, A. (2024). Machine learning for urban land use/cover mapping: Comparison of artificial neural network, random forest and support vector machine, a case study of Dilla town. Heliyon, 10(20). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39200

Klein, R. M. (1978). Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina [Mapa].

Krivoguz, D., Chernyi, S. G., Zinchenko, E., Silkin, A., & Zinchenko, A. (2023). Using Landsat-5 for accurate historical LULC classification: A comparison of machine learning models. Data, 8(9), 138. https://doi.org/10.3390/data8090138

Krob, A., Overbeck, G. E., Mähler Jr, J. K. F., Urruth, L., Malabarba, L. R., Chomenko, L., & Azevedo, M. A. (2021). Contribution of southern Brazil to the climate and biodiversity conservation agenda. Bio Diverso, 1(1).

Machado, J. M., Johnson, J. C., Tornquist, C. G., Taborda, E. P., & Winck, B. R. (2024). Soil carbon stocks as affected by land-use changes across the Pampa of southern Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 4, e0230124. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230124

MAPBIOMAS. (2023). Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. https://mapbiomas.org

Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., da Silva Menezes, L., Anand, M., Baeza, S., Carlucci, M. B., ... & Müller, S. C. (2022). Placing Brazil's grasslands and savannas on the map of science and conservation. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 56, 125687. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125687

Papadopoulos, S., Koukiou, G., & Anastassopoulos, V. (2024). Decision fusion at pixel level of multi-band data for land cover classification—a review. Journal of Imaging, 10(1), 15. https://doi.org/10.3390/jimaging10010015

Rauf, S. S. A., Tan, M. I. S. M. H., & Loh, Y. P. (2024, December). Multi-band satellite image analysis for multi-label classification. In 2024 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (pp. 1-6).

Ríos, C., Lezama, F., Rama, G., Baldi, G., & Baeza, S. (2022). Natural grassland remnants in dynamic agricultural landscapes: Identifying drivers of fragmentation. Perspectives in Ecology and Conservation, 20(3), 205–215. https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.04.003

Trabaquini, K., Ricce, W. da S., Vianna, L. F. de N., Dortzbach, D., & Vieira, V. F. (2019). O campo nativo e sua relação com a produção do queijo artesanal serrano em Santa Catarina. Desenvolvimento Regional em Debate, 9(2). https://doi.org/10.24302/drd.v9iEd.esp.2.2512

Vibrans, A. C., Sevegnani, L., Gasper, A. L. de, & Lingner, D. V. (Eds.). (2013). Inventário florístico florestal de Santa Catarina (Vol. 6). Edifurb.

Villela, J., Damian, J., Gonçalves, D., Barioni, L., Cherubin, M., & Cerri, C. E. (2026). Soil carbon debt from land use change in Brazil. Nature Communications. https://doi.org/10.1038/s41467-026-68340-4