

Plataforma Digital TerraClass para análise da dinâmica do uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Paraguai

TerraClass Digital Platform for analysis of the dynamics of land use and land cover in the Upper Paraguay Basin

João Francisco Gonçalves Antunes*, João Luís dos Santos**, Lídia Sanches Bertolo**, Victor Pedroso Curtarelli**, Adriane Calaboni**, Alexandre Camargo Coutinho*, Júlio César Dalla Mora Esquerdo*

* Embrapa Digital Agriculture, joao.antunes@embrapa.br, alex.coutinho@embrapa.br, julio.esquerdo@embrapa.br

** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, joao.santos@giz.de, lidia.bertolo@giz.de, victor.curtarelli@giz.de, adriane.calaboni@giz.de

<https://doi.org/10.5380/raega.v63i2.100182>

Resumo

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é um ecossistema de importância estratégica para o Brasil, uma vez que abriga o Pantanal, uma das maiores áreas inundáveis do mundo. A planície úmida é bem conservada, mas o planalto tem sofrido o impacto das atividades antrópicas sobre os recursos naturais, devido à rápida conversão da cobertura vegetal nas últimas décadas. Por isso é importante investigar a mudança de uso e cobertura da terra para definir estratégias que estimulem a conservação ambiental e o desenvolvimento regional. A região do planalto da BAP é contemplada pelos mapeamentos do Projeto TerraClass, que oferecem dados oficiais para o monitoramento do uso e cobertura da terra nos biomas Amazônia e Cerrado. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar as mudanças do uso e cobertura da terra em municípios da BAP, utilizando o modernizado GeoPortal TerraClass e a nova coleção dos dados de 2018, 2020 e 2022. A análise espacial mostrou que ocorreu perda da floresta nativa devido ao aumento do desmatamento, a maior parte das áreas de regeneração florestal persistiu nesse período e a área perdida foi convertida em pastagens, onde se expandiu a agricultura, inicialmente com um ciclo de produção, seguido posteriormente pela intensificação de ciclos de produção de safra e safrinha. Os resultados demonstram o potencial dos dados e das ferramentas oferecidas pela Plataforma Digital TerraClass no apoio à gestão territorial.

Palavras-chave:

BAP, Banco de dados geoespaciais, Mapeamento geográfico, Mapa interativo, Gestão territorial.

Abstract

The Upper Paraguay Basin (BAP, Portuguese acronym) is an ecosystem of strategic importance to Brazil because it includes the Pantanal, one of the world's largest floodplains. The wet plain is well preserved, but the plateau suffered the impact of anthropic activities on the natural resources, due to the rapid conversion of vegetation cover in recent decades. Therefore, it is essential to investigate land use and cover changes to define strategies that stimulate environmental conservation and

regional development. The BAP plateau region is covered by the mappings of the TerraClass Project, which provides official data for monitoring land use and cover in the Amazon and Cerrado biomes. In this context, the objective of the work was to analyze changes in land use and land cover in municipalities of the BAP, using the modern GeoPortal TerraClass and the recent data collection from 2018, 2020, and 2022. The spatial analysis showed that the native forest loss occurred due to increased deforestation. Most of the forest regeneration areas persisted during this period, and the lost area was converted into pastures, where agriculture expanded, initially with one cycle production, followed by the intensification of crop and off-season production. The results demonstrate the potential of the data and tools offered by the Digital Platform TerraClass to support territorial management.

Keywords:

BAP, Spatial database, Geographic mapping, Interactive map, Territorial management.

I. INTRODUÇÃO

A Bacia do Alto Paraguai (BAP), cuja porção brasileira engloba parte dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, tem grande importância estratégica para o Brasil devido à diversidade ecológica da paisagem. O Pantanal, uma das maiores planícies inundáveis do mundo com rica biodiversidade de fauna e flora, é bem conservado. Já o planalto tem passado por alterações antrópicas em substituição à vegetação natural pela pecuária, pela agricultura, por reflorestamentos e por edificações urbanas (Silva et al., 2011). Contudo, a substituição de áreas de vegetação nativa por áreas cultivadas e pastagens no planalto também afeta negativamente a planície do Pantanal (Bergier, 2013; Colman et al., 2019).

A supressão de áreas de vegetação nativa no planalto pode aumentar a perda de solo por erosão (Guerra et al., 2020), alterar a vazão dos cursos d'água e o regime de inundações (Marques; Rodriguez, 2022) e, por fim, pode aumentar a incidência de fogo no Pantanal (Libonati et al., 2020). Nesse contexto, é fundamental que a BAP seja constantemente monitorada, visando apoiar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável, frente aos impactos ambientais da produção agrícola na região do planalto.

O estado de Mato Grosso teve, nas últimas décadas, uma rápida conversão da cobertura vegetal natural, na qual as atividades pecuárias, agrícolas e extrativistas de madeira, promoveram grandes dinâmicas econômicas, sociais e ambientais, em detrimento da conservação dos recursos naturais (Becker, 2005). A ocupação do Mato Grosso foi fomentada por ações da política federal de colonização dos “espaços vazios” do Centro-Oeste e pela construção dos grandes eixos rodoviários para escoamento da produção (Chioveto, 2014).

Nesse mesmo período, o estado de Mato Grosso do Sul passou por um processo semelhante de importantes transformações socioeconômicas, que vão de uma estrutura produtiva de fornecedor de matéria-

prima, essencialmente para a região sudeste, para uma economia voltada ao mercado externo (Corrêa et al., 2018). A expansão e a modernização agrícola aceleraram esse processo, fazendo com que o estado se tornasse um grande produtor de grãos e carnes para o mercado nacional e internacional (Calixto; Gomes, 2014). Por isso, as informações sobre a qualificação do uso e cobertura da terra são necessárias para definir estratégias que estimulem a conservação ambiental e o desenvolvimento regional (Lambin; Geist, 2006).

O Projeto TerraClass é fruto de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), iniciada em 2008, cujo objetivo é mapear o uso e cobertura da terra em áreas desmatadas identificadas pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento por Satélite (PRODES) (INPE, 2024), como pastagem, agricultura e regeneração florestal (Coutinho et al., 2013; Almeida et al., 2016). Esses mapeamentos oferecem subsídios para a definição e monitoramento de políticas públicas e ações governamentais, auxiliando a promoção e a potencialização da produção agrícola com bases sustentáveis, a preservação da cobertura vegetal natural e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Recentemente foram lançados os novos dados oficiais dos anos 2018, 2020 e 2022 para os biomas Amazônia e Cerrado que, juntos, recobrem mais de 70% do território nacional, e estão disponíveis no GeoPortal TerraClass. Essa plataforma digital é destinada a facilitar o acesso e a visualização dos dados geoespaciais a partir de um mapa interativo, que permite de forma simples e intuitiva obter informações espaciais dos mapeamentos, assim como executar análises da dinâmica de uso e cobertura da terra (INPE; EMBRAPA, 2024).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi identificar, quantificar e analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra em municípios da BAP utilizando ferramentas disponíveis na Plataforma Digital TerraClass, com base nos dados dos biomas Amazônia e Cerrado.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

No âmbito da BAP, considerando que a planície úmida pantaneira possui algumas especificidades restritivas das formas de uso e cobertura da terra, o planalto tem passado por uma intensa transformação da paisagem, principalmente devido a pecuária de corte, a produção de grãos, a silvicultura e a indústria sucroalcooleira (Silva; Carlini, 2015). Com base nisso, a região de estudo compreende os 39 municípios localizados no planalto da BAP que são contemplados inteiramente pelos dados do TerraClass Amazônia e Cerrado, sendo 15 no estado de Mato Grosso do Sul e 24 no estado de Mato Grosso, listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Municípios do planalto da BAP contemplados pelos dados do TerraClass.

Número	Município	Estado	Área (km ²)	Número	Município	Estado	Área (km ²)
1	Acorizal	MT	852,7	21	Jardim	MS	2.201,5
2	Alcinópolis	MS	4.399,7	22	Juscimeira	MT	2.293,6
3	Alto Paraguai	MT	1.844,8	23	Nioaque	MS	3.923,8
4	Anastácio	MS	2.946,3	24	Nova Olímpia	MT	1.367,8
5	Araputanga	MT	1.610,1	25	Pedra Preta	MT	4.049,5
6	Arenópolis	MT	415,6	26	Pedro Gomes	MS	3.651,2
7	Barra do Bugres	MT	5.981,6	27	Reserva do Cabaçal	MT	1.342,1
8	Bela Vista	MS	4.892,6	28	Rio Branco	MT	561,6
9	Bonito	MS	4.934,4	29	Rio Negro	MS	1.807,7
10	Caracol	MS	2.940,3	30	Rochedo	MS	1.561,1
11	Chapada dos Guimarães	MT	6.611,7	31	Rondonópolis	MT	4.686,7
12	Corguinho	MS	2.638,2	32	Salto do Céu	MT	1.754,5
13	Cuiabá	MT	3.293,6	33	Santo Afonso	MT	1.174,2
14	Denise	MT	1.278,5	34	São Gabriel do Oeste	MS	3.864,7
15	Dois Irmãos do Buriti	MS	2.341,7	35	São José do Povo	MT	448,3
16	Figueirópolis D'Oeste	MT	888,1	36	São José dos Quatro Marcos	MT	1.287,9
17	Guia Lopes da Laguna	MS	1.210,6	37	São Pedro da Cipa	MT	344,1
18	Indiavaí	MT	592,6	38	Terenos	MS	2.841,7
19	Jaciara	MT	1.675,1	39	Várzea Grande	MT	1.048,4
20	Jangada	MT	1.015,3	TOTAL			92.574,0

Fonte: Autores.

A dinâmica do uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP foi analisada por meio do modernizado GeoPortal TerraClass (Figura 1) que disponibiliza a nova coleção atualizada dos dados de 2018, 2020 e 2022 para os biomas Amazônia e Cerrado, e oferece um novo mapa interativo (Figura 2) composto por um amplo e poderoso conjunto de ferramentas para análise espacial dos mapas da série histórica.



Figura 1 – Tela inicial da Plataforma Digital TerraClass. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

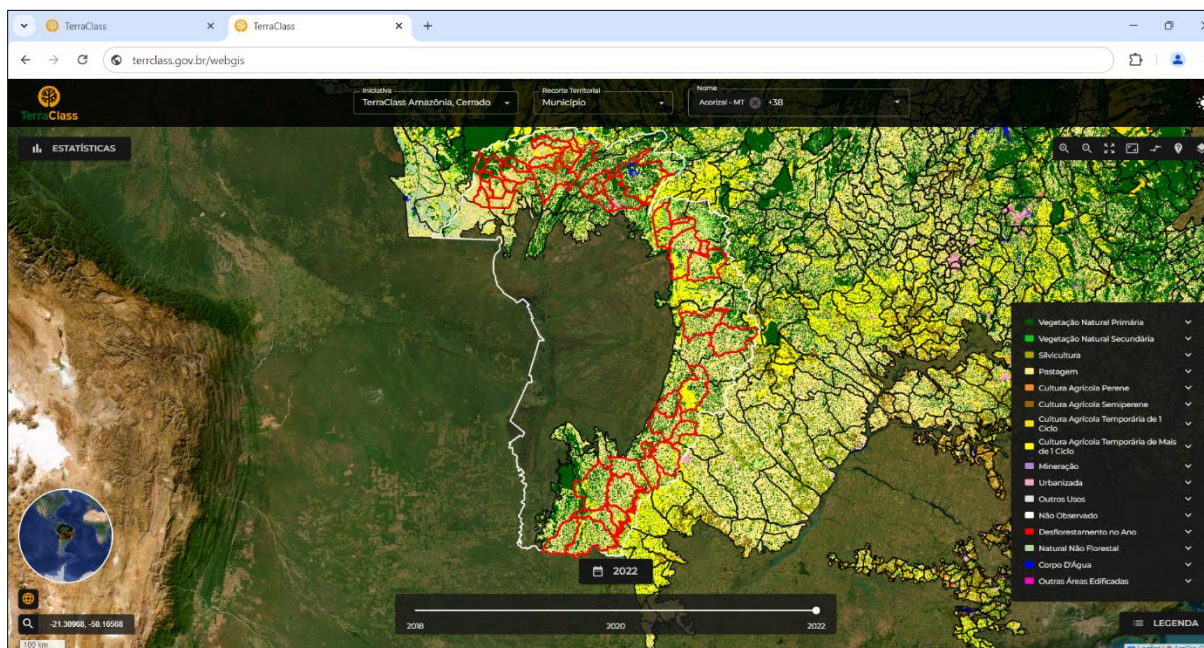


Figura 2 – Interface do mapa interativo do TerraClass destacando os 39 municípios no planalto da BAP. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

Os novos mapas do TerraClass foram gerados por meio de uma metodologia inovadora no Brasil que utiliza cubos de dados multidimensionais de séries temporais de imagens Sentinel-2, de 10m de resolução espacial e composições de 16 dias de resolução temporal, disponibilizadas pelo projeto *Brazil Data Cube* (BDC) (Ferreira et al., 2020), por meio da tecnologia *SpatioTemporal Asset Catalog* (STAC) e, também, do pacote *Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cubes* (SITS) de código aberto, desenvolvido na linguagem R (R CORE TEAM, 2024), para análise, visualização e classificação de séries temporais de imagens de satélite por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, e nas versões mais recentes, em especial algoritmos de aprendizado profundo (Simões et al., 2021).

Os mapeamentos do TerraClass consideram as seguintes classes temáticas: Vegetação Natural Primária, Vegetação Natural Secundária, Silvicultura, Pastagem, Cultura Agrícola Perene, Cultura Agrícola Semiperene, Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo, Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo, Mineração, Urbanizada, Outras Áreas Edificadas, Outros Usos, Não Observado, Desflorestamento no Ano, Natural Não Florestal e Corpo D'Água.

O GeoPortal TerraClass foi evoluído a partir de ferramentas de código aberto, com os dados armazenados em um banco de dados PostgreSQL (POSTGRESQL, 2024), que utiliza as funcionalidades da extensão PostGIS (POSTGIS, 2024) para implementar as consultas espaciais de forma otimizada. O mapa interativo propicia acesso, visualização, sobreposição e manipulação dos dados espaciais da série histórica para diferentes recortes territoriais, de forma rápida e intuitiva, oferecendo ferramentas para geração de gráficos de

setores, gráfico de evolução, matriz de transições entre pares de mapas e diagramas de transições de fluxos de Sankey (Schmidt, 2008), combinando múltiplos mapas das classes temáticas ao longo dos anos e possibilitando a quantificação e a visualização das trajetórias históricas das classes de uso e cobertura da terra dos recortes territoriais selecionados, bem como, a delimitação das áreas de uma transição específica (Santos, 2022).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total dos 361,6 mil km² compreendidos pela porção brasileira da BAP que abrange 91 municípios, cerca de 58% (210,7 mil km²) estão localizados fora do bioma Pantanal, sendo 16% no bioma Amazônia e 84% no bioma Cerrado. As análises apresentadas neste estudo referem-se a área dos 39 municípios que se encontram inteiramente inseridos na região do planalto da BAP, totalizando 92,5 mil km², os quais são contemplados pelos dados do TerraClass. A Tabela 2 apresenta as áreas das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP, nos anos de 2018 e 2022, bem como a diferença que representa a dinâmica entre os anos, cujos valores foram exportados por meio do mapa interativo do TerraClass.

Tabela 2 – Área e dinâmica das classes temáticas de uso e cobertura da terra para os anos de 2018 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP.

Classe temática / Ano	39 Municípios da BAP			
	Área (km ²)			
	2018	2022	Dinâmica	Dinâmica (%)
Vegetação Natural Primária	29.992,83	29.130,74	-862,09	-2,9
Vegetação Natural Secundária	7.536,36	5.894,95	-1.641,41	-21,8
Silvicultura	692,18	481,25	-210,93	-30,5
Pastagem	45.174,96	46.263,75	1.088,78	2,4
Cultura Agrícola Perene	13,84	19,19	5,35	38,6
Cultura Agrícola Semiperene	1.130,15	1.074,06	-56,09	-5,0
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo	536,86	1.048,03	511,17	95,2
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1	5.844,11	7.027,48	1.183,38	20,2
Mineração	21,98	21,97	-0,01	-0,1
Urbanizada	528,20	500,89	-27,31	-5,2
Outras Áreas Edificadas	92,23	99,13	6,90	7,5
Outros Usos	1,20	6,25	5,05	421,0
Não observado	0,00	0,23	0,23	23,0
Desflorestamento no Ano	189,30	207,65	18,36	9,7
Natural Não Florestal	323,74	299,39	-24,35	-7,5
Corpo D'Água	472,90	475,88	2,97	0,6
TOTAL	92.550,85	92.550,85	0,00	0,0

Fonte: Autores.

As figuras geradas por meio do mapa interativo do TerraClass utilizaram a configuração Inicial TerraClass Amazônia, Cerrado, Recorte Territorial Município e a seleção dos 39 municípios listados na Tabela 1.

A Figura 3 exibe os gráficos de setores gerados a partir do menu ESTATÍSTICAS → SETORES do mapa interativo do TerraClass, mostrando as frequências relativas mais relevantes das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP, para os anos 2018 e 2022.

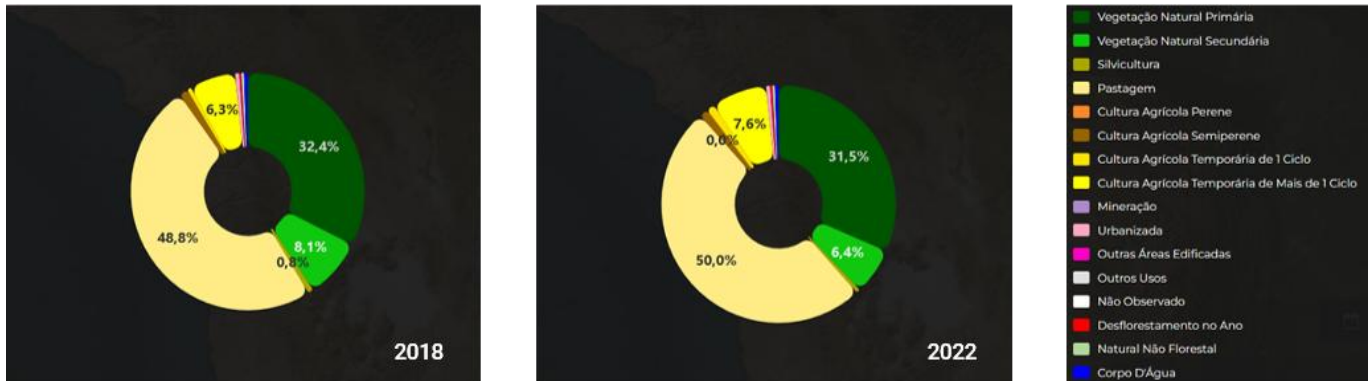


Figura 3 – Frequências relativas mais relevantes das classes de uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP, para os anos 2018 e 2022. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

Ao contrário da planície, no planalto predominam historicamente áreas extensas de pastagem e, em menor escala, áreas de produção de agricultura comercial, como o cultivo da soja e do milho, o que resultou nos últimos anos em perdas de vegetação nativa primária e secundária (Broquet et al., 2024).

Pelos resultados apresentados na Tabela 2 e na Figura 3, é possível verificar que em 2018 quase 30 mil km² (32,4%) dessa região do planalto da BAP eram cobertos por Vegetação Natural Primária e 7,5 mil km² (8,1%) por Vegetação Natural Secundária. Já em 2022 ocorreu uma redução de 862 km² (-2,9%) de Vegetação Natural Primária, relacionado ao aumento de 9,7% do desmatamento, como também a perda de 1.641 km² (-21,8%) de Vegetação Natural Florestal Secundária. Nesse período de 4 anos, também pode-se observar o aumento de 511 km² (95,2%) da área de Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo, 1,2 mil km² (20,2%) da área de Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo e de 1,1 mil km² (2,4%) da área de Pastagem, que continua predominando em grande extensão nessa região do planalto da BAP.

Para propiciar um melhor entendimento dos processos da dinâmica entre as classes temáticas, foi gerada uma matriz de transições a partir do menu ESTATÍSTICAS → MATRIZ do mapa interativo do TerraClass, que cruza os resultados dos mapeamentos de 2018 e de 2022, como mostrado na Figura 4. A diagonal principal da matriz de transição apresenta as áreas que se mantiveram constantes entre os mapeamentos 2018 e 2022,

o que corresponde a 88,8%, enquanto os valores fora da diagonal principal apresentam as transições entre as classes temáticas no período de 4 anos, representando 11,2% do total das áreas.

SETORES	EVOLUÇÃO	MATRIZ	TRANSIÇÕES	Unidade													
Ano Inicial		Ano Final		km² ha													
2018		2022		EXPORTAR													
	VP	VS	SI	PA	CAP	CAS	CATI	CAT+	MI	UB	OE	OU	NO	DA	NNF	CA	
Vegetação Natural Primária (VP)	29.130,74	44,04	0,96	569,15	0,03	0,14	3,20	31,56	1,09	1,76	1,69	0,52	0,00	205,75	-	2,19	
Vegetação Natural Secundária (VS)	-	4.224,17	15,10	3.209,03	1,91	6,89	7,33	61,61	0,96	2,56	4,17	0,14	0,08	0,17	-	2,24	
Silvicultura (SI)	-	23,69	432,49	214,85	0,59	1,40	10,66	8,00	0,00	-	0,12	0,37	-	-	-	0,00	
Pastagem (PA)	-	1.484,89	25,94	41.376,78	9,67	96,25	450,64	1.683,39	4,95	14,15	24,08	3,84	0,14	0,01	-	0,22	
Cultura Agrícola Perene (CAP)	-	0,43	0,13	6,20	6,41	-	0,00	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cultura Agrícola Semiperene (CAS)	-	3,63	2,84	62,15	-	855,80	113,00	92,66	-	0,03	0,05	-	0,01	-	-	0,00	
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo (CATI)	-	5,90	0,11	61,50	0,00	108,58	58,38	302,20	-	0,01	0,16	-	0,00	-	-	0,02	
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo (CAT+)	-	80,09	3,34	507,50	0,51	4,94	402,35	4.840,55	0,00	0,22	4,60	-	-	-	-	0,00	
Mineração (MI)	-	1,55	-	5,81	-	-	-	0,00	14,46	-	-	-	0,14	-	-	0,03	
Urbanizada (UB)	-	5,09	0,14	28,22	0,05	-	0,13	2,32	-	473,53	17,82	0,88	-	-	-	0,01	
Outras Áreas Edificadas (OE)	-	1,90	0,18	35,27	-	-	0,04	0,46	0,09	8,19	45,95	0,16	-	-	-	-	
Outros Usos (OU)	-	0,07	-	0,97	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-	0,00	
Não Observado (NO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Desflorestamento no Ano (DA)	-	17,60	0,00	164,16	-	0,07	2,00	3,99	0,40	0,42	0,51	0,05	0,00	0,03	-	0,07	
Natural Não Florestal (NNF)	-	0,34	-	21,93	-	-	0,31	0,07	-	-	-	-	0,00	1,70	299,39	-	
Corpo D'Água (CA)	-	1,56	0,00	0,23	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-	-	-	-	-	471,10	

Figura 4 – Matriz de transições entre as classes de uso e cobertura da terra entre 2018 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

Pela Figura 4, pode-se dizer que o crescimento das áreas de produção agrícola na região de estudo nesse período está associado predominantemente à incorporação de áreas antes destinadas à pecuária. Após a conversão de áreas de Pastagem, segue-se o processo de intensificação da agricultura com ciclos de produção de safra e safrinha. A transição da Pastagem para Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo ou Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo foram as dinâmicas mais expressivas encontradas nessa região, com respectivamente 4,4% e 16,3% do total de transições. Nesse período, 450,6 km² (43%) da área de Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo e 1.683,4 km² (24%) da área de Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022 eram Pastagem em 2018. Também se observou a conversão de 302,2 km² de áreas de Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo em Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo.

A expansão de cultivos agrícolas sobre pastagens é um processo comum em regiões de agricultura consolidada no Sul e Sudeste do Brasil, em que as pastagens são deslocadas para outras regiões, principalmente Centro-Oeste e Norte do país, onde causam desmatamentos (Barretto et al., 2013). Em contrapartida, na região de estudo a substituição de Pastagem por Cultura Agrícola Temporária ocorreu paralelamente à expansão de Pastagem sobre Vegetação Natural Primária e Secundária, indicando que a expansão de cultivos temporários observados em 2022 está, indiretamente, relacionada a perdas de vegetação nativa na BAP.

O diagrama de transições exibido na Figura 5, gerado a partir do menu ESTATÍSTICAS → TRANSIÇÕES do mapa interativo do TerraClass, possibilita uma análise detalhada das mudanças de uso e cobertura da terra entre múltiplos anos. Nesse caso foram selecionados os anos 2018, 2020 e 2022 e os 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022. As espessuras das linhas destacadas em ciano mostram as transições históricas e as áreas das classes temáticas que foram convertidas para Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022. Os maiores fluxos em direção a esta classe em 2022 são originários da própria classe em 2018 e 2020, o que indica a sua manutenção nesse período.



Figura 5 – Diagrama de transições gerado para os anos 2018, 2020 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

Ao se desconsiderar os fluxos que se originam na própria classe da Figura 5, pode-se observar que a Pastagem foi a classe cujas transições foram representadas por linhas mais espessas, ou seja, foi que mais contribuiu para o aumento da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo entre 2018 e 2022. Ao posicionar o cursor sobre estas linhas em ciano, pode-se identificar que a área da transição da Pastagem para Cultura

Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo entre 2018 e 2020 foi de 753,45 km². Já entre 2020 e 2022 a transição foi de 1.163,96 km².

Pelos resultados apresentados na Tabela 2, pode-se verificar que dos 5,9 mil km² (6,4%) da área de Vegetação Natural Secundária em 2022, cerca de 72% já existiam em 2018 e 21,8% foram convertidos para outros usos agrícolas. A expansão de Pastagem foi a principal causa do decréscimo de Vegetação Natural Secundária (3.209 km²) e, em menor proporção, de Vegetação Natural Primária (569,1 km²) entre 2018 e 2022 (Figura 4). Como discutido anteriormente, os cultivos agrícolas tiveram pouco impacto sobre a diminuição da área total de vegetação nativa nesse período, visto que a expansão das áreas de Cultura Agrícola Temporária ocorreu predominantemente sobre áreas de Pastagem. No entanto, esse é um padrão recorrente de conversão de áreas de vegetação nativa no Brasil, em que as áreas recém-abertas são transformadas em pastagens para posteriormente ocorrer a conversão para a agricultura. Como consequência, há o deslocamento de pastagens para outras áreas da mesma região onde causam novas perdas de vegetação nativa, recomeçando o processo (Ribeiro et al., 2025).

A expansão da soja na Amazônia e no Cerrado tem suprimido grandes extensões de vegetação nativa e tem ocorrido mais rapidamente que as melhoras em produtividade (Marin et al., 2022). Isso significa que os aumentos de produtividade da soja nesses biomas podem ter pouco ou nenhum potencial para diminuir a pressão da agricultura sobre as áreas de vegetação nativa, podendo incentivá-la (Goulard et al., 2023). Na BAP, os efeitos do aumento da pressão das áreas produtivas sobre áreas nativas no planalto afetam diretamente a dinâmica hidrológica da planície (Marques; Rodriguez, 2022). A degradação e erosão do solo e o desmatamento de áreas nativas no planalto aumentam o carreamento de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes para planície (Guerra et al., 2020).

Por outro lado, pode-se constatar pela Figura 4 que a Pastagem também perdeu 1.484,9 km² de 2018 para Vegetação Natural Secundária em 2020, o que corresponde a 14,4% da dinâmica, apontando uma regeneração florestal relevante nesse período. Para possibilitar a análise do tempo de estabelecimento da regeneração florestal na região de estudo, a Figura 6 exibe o diagrama de transições, gerado a partir do menu ESTATÍSTICAS → TRANSIÇÕES do mapa interativo do TerraClass, em que foram selecionados os anos 2018, 2020 e 2022 para análise dos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Vegetação Natural Secundária nos três anos.

Pelo diagrama de transições mostrado na Figura 6, pode-se observar que 3.751,7 mil km² (64%) da área de 2022 permanecem em processo de regeneração florestal por pelo menos 4 anos. Tratando-se de uma região

de expansão de Pastagem, principalmente sobre áreas de Vegetação Natural Secundária para posterior entrada de cultivos agrícolas, é provável que as áreas que persistem em regeneração sejam menos adequadas à mecanização, por isso se mantêm como Vegetação Natural Secundária. Do mesmo modo, também é possível que as áreas mais antigas de pastagens convertidas em cultivos temporários podem ser menos adequadas à mecanização ou impróprias para a agricultura e, por isso, são abandonadas e entram em processo de regeneração (Silva et al., 2007; CRK et al., 2009).

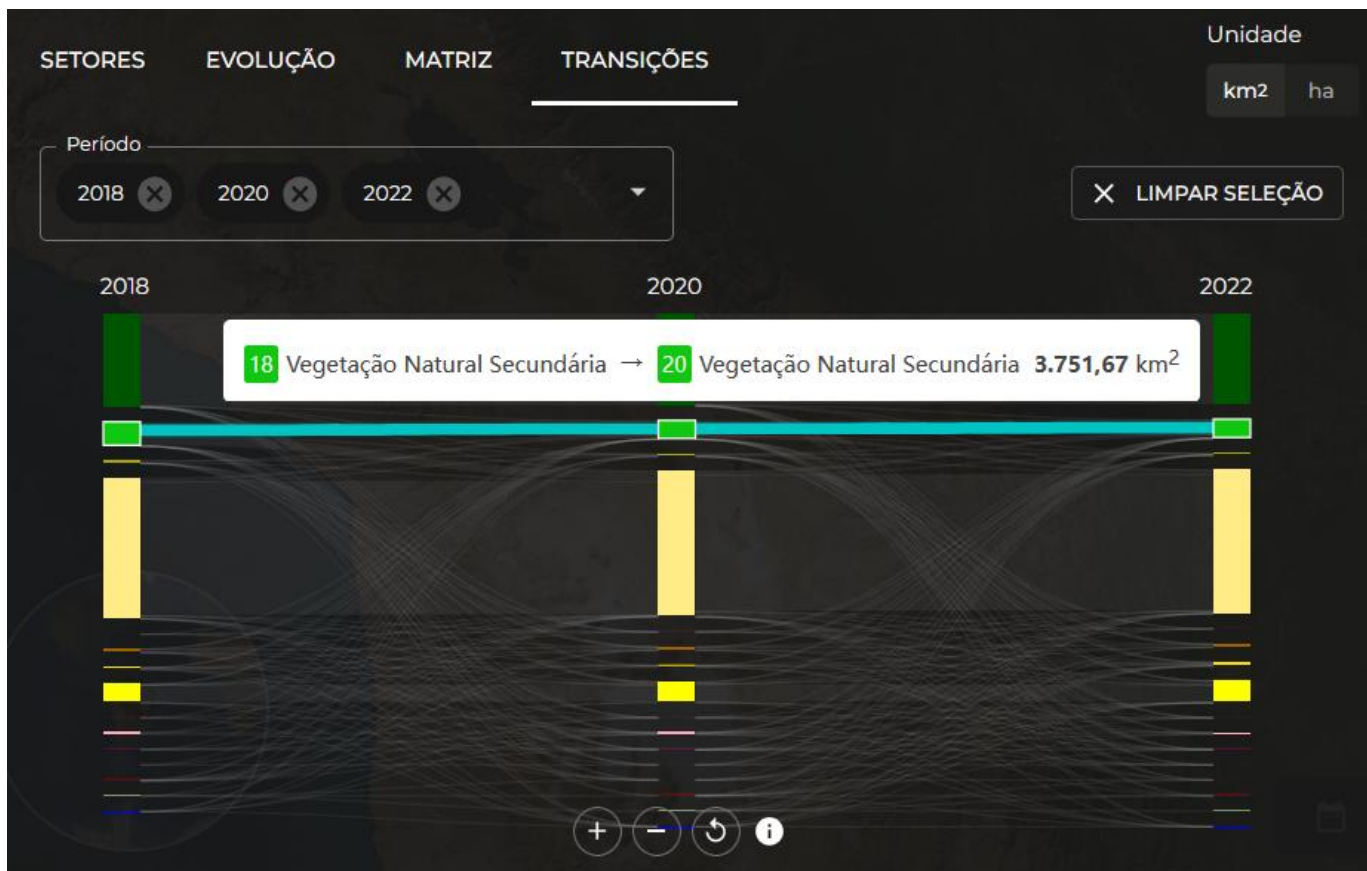


Figura 6 – Diagrama de transições gerado para os anos 2018, 2020 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Cultura Vegetação Natural Secundária em 2022. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

Por meio das ferramentas disponíveis na Plataforma Digital TerraClass foi possível descrever processos complexos de transição de uso e cobertura da terra em municípios do planalto e inferir sobre seus possíveis efeitos na planície do Pantanal. O mapa interativo é flexível e, após a seleção da região de estudo, o acesso às informações é feito por interação direta com as figuras, como o cálculo das transições entre classes temáticas nos diagramas. Ao clicar nas linhas do gráfico, o usuário obtém prontamente as áreas convertidas de uma classe específica para a outra e, ao clicar no fluxo de uma das classes, obtém a área convertida para a classe alvo (Figuras 5 e 6).

O mapa interativo também permite espacializar áreas de transições sobre os mapeamentos de uso e cobertura da terra. Os municípios de Bela Vista, Terenos, Bonito, Nioaque e Jardim localizados no planalto da BAP no estado de Mato Grosso do Sul, apresentaram as maiores áreas de pastagem convertidas para agricultura no período, respectivamente 148,68 km², 94,36 km², 90,73 km², 79,26 km² e 62,74 km². Com base nisso, o diagrama de transições ilustrado na Figura 7, gerado a partir do menu ESTATÍSTICAS → TRANSIÇÕES do mapa interativo do TerraClass, mostra a espacialização da área de transição de 148,68 km² no município de Bela Vista – MS, destacada em ciano sobre o mapa, obtida a partir do diagrama de transições, em que é fixada a classe temática Pastagem em 2018 e 2020, ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022 e clicando sobre a linha que liga o ano de 2020 a 2022, que representa o fluxo da transição.

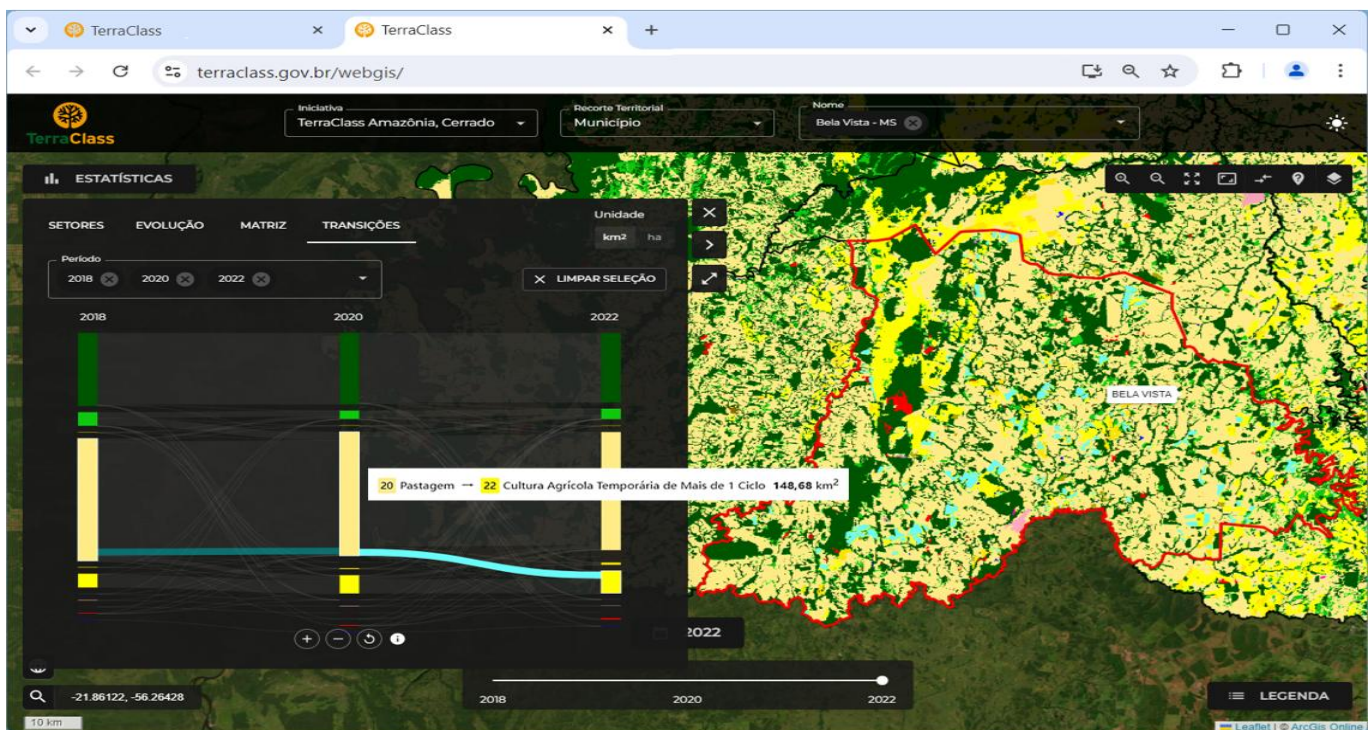


Figura 7 – Diagrama de transições no município de Bela Vista - MS fixada a classe temática Pastagem em 2018 e 2020, ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022 e clicando sobre a linha que liga o ano de 2020 a 2022. (Fonte: INPE; Embrapa, 2024).

O município de Bela Vista - MS tem se destacado pela expansão do cultivo da soja nos últimos anos, o que pode carregar sedimentos aos rios, causar contaminação nos corpos d'água com agroquímicos e, conseqüentemente, trazer impactos sobre os recursos naturais da planície inundável do Pantanal (Colman et al., 2019; Mello et al., 2020).

De forma geral, pode-se dizer que de 2018 a 2022 ocorreu perda de vegetação nativa nos 39 municípios do planalto da BAP, devido ao aumento do desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado. A maior parte das áreas de regeneração florestal persistiu nesse período e a área perdida foi convertida em pastagens, que ainda

predominam em grande extensão da região. Com isso, as áreas agrícolas se expandiram principalmente sobre as áreas de pastagens, inicialmente com um ciclo de produção, seguido posteriormente pela intensificação de ciclos de produção de safra e safrinha.

IV. CONCLUSÕES

Por meio de ferramentas computacionais disponíveis no GeoPortal TerraClass e com base nos novos mapeamentos de 2018, 2020 e 2022 dos biomas Amazônia e Cerrado, foi possível gerar informações de maneira rápida sobre o uso e cobertura da terra e suas transições nos 39 municípios do planalto da BAP.

A análise espacial mostrou que a transição da pastagem para agricultura é a dinâmica mais expressiva encontrada na região do planalto da BAP, inicialmente com um ciclo de produção, seguido posteriormente pela intensificação de ciclos de produção de safra e safrinha.

Os resultados mostraram o potencial da Plataforma Digital TerraClass no apoio à gestão territorial, que em breve irá incorporar os mapeamentos do ano de 2024 dos biomas Amazônia e Cerrado. Futuramente os mapeamentos do TerraClass também serão executados nos outros biomas brasileiros, em especial no Pantanal, tornando-se possível avaliar os impactos das mudanças de uso e cobertura da terra sobre os recursos naturais em toda a BAP.

V. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A.; COUTINHO A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 3, p. 291-302, 2016. doi.org/10.1590/1809-4392201505504.

BARRETTO, A. G. O. P.; BERNDES, G.; SPAROVEK, G.; WIRSENIUS, S. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975-2006 period. *Global Change Biology*, v. 19, p. 1804-1815, 2013. doi.org/10.1111/gcb.12174.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

BERGIER, I. Effects of highland land-use over lowlands of Brazilian Pantanal. *Science of the Total Environment*, v. 463-464, p. 1060-1066, 2013. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.036.

BROQUET, M.; CAMPOS, F. S.; CABRAL, P.; DAVID, J. Habitat quality on the edge of anthropogenic pressures: Predicting the impact of land use changes in the Brazilian Upper Paraguay river Basin. *Journal of Cleaner Production*, v. 459, p. 142546, 2024. doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142546.

CALIXTO, M. J. M. S.; GOMES, I. R. P. Da formação territorial à rede urbana do Mato Grosso do Sul. In: *Seminário Internacional América Platina*, 5. Anais... Dourados, MS, 2014. CD-ROM, p. 1-15, 2014.

- CHIOVETO, M. O. T. Desenvolvimento rural no Mato Grosso e seus biomas. p. 245. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2014.
- COLMAN, C. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; ALMAGRO, A.; SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, D. B. B. Effects of climate and land-cover changes on soil erosion in Brazilian Pantanal. *Sustainability*, v. 11, n. 24, p. 7053, 2019. doi.org/10.3390/su11247053.
- CORRÊA, A. S.; MONTEIRO, M. A.; RIPPEL, R.; RODRIGUES, E. A. G. Fluxos migratórios no estado de Mato Grosso do Sul (1970-2010). *Interações (Campo Grande)*, n. 19, v. 2, p. 325-341, 2018. doi.org/10.20435/inter.v19i2.1599.
- COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C. A.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, M. Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008. 1. ed. v. 1. p. 108. Brasília-DF, Belém-PA: Embrapa, INPE, 2013.
- CRK, T.; URIARTE, M.; CORSI, F.; FLYNN, D. Forest recovery in a tropical landscape: what is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables? *Landscape Ecology*, v. 24, p. 629–642, 2009. doi.org/10.1007/s10980-009-9338-8.
- FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; VINHAS, L.; MARUJO, R. F. B.; SIMOES, R. E. O.; PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; CARTAXO, R.; GOMES, V. C. F.; SANTOS, L. A.; SANCHEZ, A. H.; ARCANJO, J. S.; FRONZA, J. G.; NORONHA, C. A.; COSTA, R. W.; ZAGLIA, M. C.; ZIOTI, F.; KORTING, T. S.; SOARES, A. R.; CHAVES, M. E. D.; FONSECA, L. M. G. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, v. 12, n. 24, 4033, 2020. doi.org/10.3390/rs12244033.
- GOULARD, F. F.; CHAPPELL, M. J.; MERTENS, F.; SOARES-FILHO, B. Sparing or expanding? The effects of agricultural yields on farm expansion and deforestation in the tropics. *Biodiversity and Conservation*, v. 32, p. 1089-1104, 2023. doi.org/10.1007/s10531-022-02540-4.
- GUERRA, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; ROQUE, F. O.; ROSA, I. M. D.; OCHOA-QUINTERO, J. M.; GUARIENTO, R. D.; COLMAN, C. B.; DIB, V.; MAIOLI, V.; STRASSBURG, B.; GARCIA, L. C. The importance of Legal Reserve for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. *Journal of Environmental Management*, v. 260, p. 110128, 2020. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110128.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). TerraBrasilis. Disponível em: <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). TerraClass. Disponível em: <<https://www.terraclass.gov.br>>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. Land-Use and Land-Cover Change: local processes and global impacts. Springer Science & Business Media, 2006. doi.org/10.1007/3-540-32202-7.
- LIBONATI R.; DACAMARA, C. C.; PERES, L. F.; CARVALHO, L. A. S.; GARCIA, L. C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*, v. 588, p. 217-219, 2020. doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1.
- MARIN, F. R.; ZANON, A. J.; MONZON, J. P.; ANDRADE, J. F.; SILVA, E. H. F. M.; RICHTER, G. L.; ANTOLIN, L. A. S.; RIBEIRO, B. S. M. R.; RIBAS, G. G.; BATTISTI, R.; HEINEMANN, A. B.; GRASSINI, P. Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification. *Nature Sustainability*, v. 5, p. 1018-1026, 2022. doi.org/10.1038/s41893-022-00968-8.
- MARQUES, M. C. S.; RODRIGUEZ, D. A. Impacts of the landscape changes in the low streamflows of Pantanal

headwaters – Brazil. *Hydrological Processes*, v. 36, p. e14617, 2022. doi.org/10.1002/hyp.14617.

MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, v. 270, p. 110879, 2020. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879.

POSTGIS. Disponível em: <<http://postgis.net>>. Acesso em: 28 jun. 2024.

POSTGRESQL. Disponível em: <<http://www.postgresql.org>>. Acesso em: 28 jun. 2024.

RIBEIRO, J. M. P.; MACULAN, G.; ÁVILA, B. O.; MORAIS, V. A.; HOECKESFELD, L.; SECCHI, L.; GUERRA, J. B. S. O. A. Deforestation by production displacement: expansion of croplands and cattle ranching on Amazon Forest. *Environment, Development and Sustainability*, p. 1-32, 2025. doi.org/10.1007/s10668-024-05917-3.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 28 jun. 2024.

SANTOS, J. L. Desenvolvimento de uma solução computacional para análise da dinâmica do uso e cobertura da terra. 2022. p. 87. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCHMIDT, M. The Sankey diagram in energy and material flow management: Part I: History. *Journal of Industrial Ecology*, v. 12, n. 1, p. 82-94, 2008. doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x.

SILVA, W. G.; METZGER, J. P.; SIMÕES, S.; SIMONETTI, C. Relief influence on the spatial distribution of the Atlantic Forest cover on the Ibiúna Plateau, SP. *Brazilian Journal of Biology*, v. 67, n. 03, p. 403-411, 2007. doi.org/10.1590/S1519-69842007000300004.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; SILVA, S. M. A.; MORAES, J. A. Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the timeframe 1976 - 2008. *Geografia, Rio Claro*, v. 36, num. esp., p. 35-55, jun. 2011.

SILVA, J. S. V.; CARLINI, F. J. Vegetation cover of the upper Paraguai basin in Mato Grosso do Sul State: comparison between Pantanal wetland and the plateau. *Geografia, Rio Claro*. v. 40, Número Especial, p. 211-226, 2015.

SIMÕES, R.; CAMARA, G.; QUEIROZ, G.; SOUZA, F.; ANDRADE, P. R.; SANTOS, L.; CARVALHO, A.; FERREIRA, K. Satellite Image Time Series Analysis for Big Earth Observation Data. *Remote Sensing*, v. 13, n. 13, p. 2428, 2021. doi.org/10.3390/rs13132428.