ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NOS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO POR MEIO DA PLATAFORMA DIGITAL TERRACLASS

João Francisco Gonçalves Antunes[1], Alexandre Camargo Coutinho[1], Júlio César Dalla Mora Esquerdo[1], Glauber José Vaz[1], Lídia Sanches Bertolo[2], Victor Pedroso Curtarelli[2], Adriane Calaboni[2], João Luís dos Santos[2], Filipe Castro Felix[3], André Silva Tavares[3]

[1]Embrapa Agricultura Digital, Av. André Tosello, 209 – Campus da Unicamp, Barão Geraldo, 13083-886 – Campinas, SP, Brasil, {joao.antunes, alex.coutinho, julio.esquerdo, glauber.vaz}@embrapa.br; [2]Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Av. José Rocha Bonfim, 214, Jardim Santa Genebra, Praça Capital, Ed. Frankfurt, Sala 126, 13080-650 – Campinas, SP, Brasil, {lidia.bertolo, victor.curtarelli, adriane.calaboni, joao.luis}@giz.de; [3]Colaborador da Embrapa Agricultura Digital, {filipe.felix, andre.tavares}@colaborador.embrapa.br

RESUMO

A Amazônia e o Cerrado vêm sofrendo modificações antrópicas que estão provocando grandes mudanças na cobertura vegetal. O Projeto TerraClass é o responsável por gerar dados oficiais do mapeamento do uso e cobertura da terra nesses biomas. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra na Amazônia e no Cerrado entre 2018 e 2022 por meio da Plataforma Digital TerraClass. Os dados do desmatamento detectaram perdas expressivas da vegetação natural florestal em ambos os biomas nesse período de 4 anos. Na Amazônia foi possível verificar a consolidação da pastagem e a expansão da agricultura. Já no Cerrado foi possível constatar a expansão da agricultura sobre pastagens e a intensificação de ciclos de produção agrícola. Os resultados demonstram o potencial dos dados e das ferramentas disponíveis na Plataforma Digital TerraClass no apoio à gestão territorial.

Palavras-chave — BDC, sits, banco de dados geoespaciais, mapa interativo, gestão territorial.

ABSTRACT

The Amazon and Cerrado have been undergoing anthropic changes that are causing major changes in vegetation cover. The TerraClass Project is responsible for generating official data on land use and land cover mapping in these biomes. In this context, the objective of the work was to analyze the dynamics of land use and coverage in Amazon and Cerrado between 2018 and 2022 through the TerraClass Digital Platform. Deforestation data detected significant losses of natural forest vegetation in both biomes during this four-year period. In Amazon, it was possible to verify the consolidation of pasture and the expansion of agriculture. In Cerrado, it was possible to evidence the expansion of agriculture over pastures and the intensification of agricultural production cycles. The results demonstrated the potential of the data and tools available on the TerraClass Digital Platform to support territorial management.

Keywords *— BDC, sits, spatial database, interactive map, land management.*

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é o maior bioma brasileiro com área aproximada de 4,2 milhões de km², correspondente a cerca de 49,3% do território do Brasil. Compreende a maior floresta tropical e a maior bacia hidrográfica do mundo, caracterizando-se pela presença de diversos ecossistemas com grande biodiversidade de fauna e flora [1]. O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, ocupa área superior à 2 milhões de km², referente à aproximadamente 24,0% do território brasileiro. Conhecido como a savana brasileira, é uma das regiões de maior biodiversidade do planeta devido à presença de diferentes fitofisionomias e por abrigar as nascentes dos principais rios brasileiros [2]. Porém, esses biomas vêm sofrendo modificações antrópicas que estão provocando grandes mudanças na cobertura vegetal [3]. Segundo o Programa de Monitoramento do Desmatamento por Satélite (PRODES) [4], o desflorestamento nos anos de 2018 e 2022 foi de aproximadamente 8,0 mil km² e 13,2 mil km² na Amazônia, e de 7,1 mil km² e 10,6 km² no Cerrado, respectivamente.

As informações sobre a caracterização do histórico do uso e cobertura da terra são imprescindíveis para verificar os fatores responsáveis pelo desmatamento e delinear estratégias que estimulem a conservação dos recursos naturais. A partir dessa necessidade, surgiu em 2008 o Projeto TerraClass, fruto de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), cujo objetivo é mapear o uso e cobertura da terra em áreas desmatadas identificadas pelo PRODES, para qualificar as principais atividades antrópicas nos biomas [5], [6]. Recentemente, foram lançados os novos dados oficiais da Amazônia e do Cerrado para os anos de 2018, 2020 e 2022, disponíveis na Plataforma Digital TerraClass, que a partir desta versão modernizada integra os dados geoespaciais dos dois biomas, facilitando o acesso e a visualização por um mapa interativo que permite, de forma simples e intuitiva, obter informações dos mapeamentos,

assim como executar análises da dinâmica de uso e cobertura da terra [7].

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra na Amazônia e Cerrado no período entre 2018 e 2022, utilizando os dados e as ferramentas disponíveis na Plataforma Digital TerraClass.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A região de estudo compreende a Amazônia e o Cerrado, que juntos recobrem 73,3% do Brasil. Ambos os biomas têm passado por expressivos processos de transição relacionados principalmente ao avanço da pecuária e ao crescimento da agricultura em áreas desmatadas.

A análise da dinâmica do uso e cobertura da terra foi realizada por meio da nova Plataforma Digital TerraClass (Figura 1) que disponibiliza os dados mais recentes de 2018, 2020 e 2022, 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.

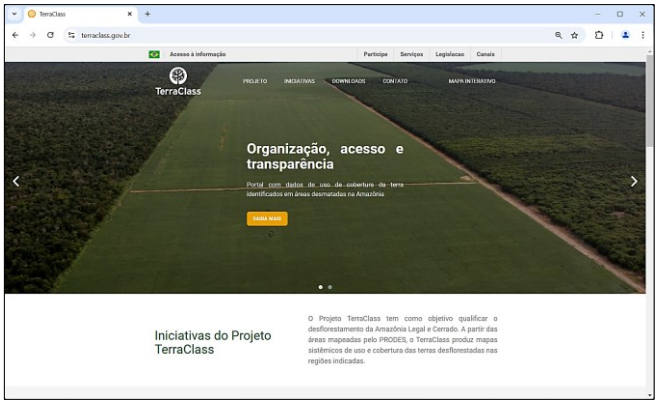


Figura 1. Plataforma Digital TerraClass.

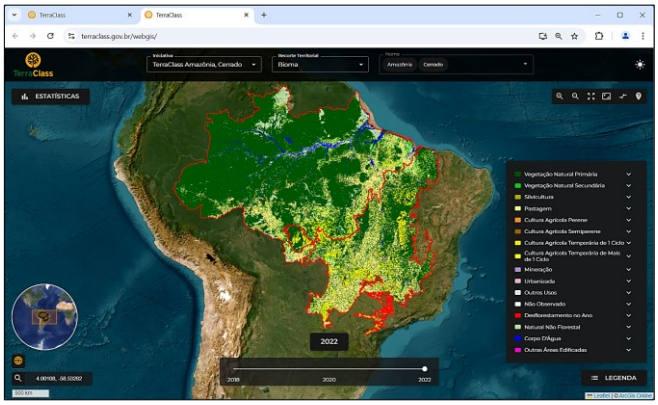


Figura 2. Mapa interativo da Plataforma Digital TerraClass.

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) [8], e do pacote *Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cubes* (sits) de código aberto, desenvolvido na linguagem R, para análise, visualização e classificação de séries temporais de imagens de satélite por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, em especial de aprendizado profundo [9].

Os mapas do TerraClass consideram as seguintes classes temáticas: Vegetação Natural Florestal Primária, Vegetação Natural Florestal Secundária, Silvicultura, Pastagem (diferenciada entre Arbustiva/Arbórea e Herbácea somente para a Amazônia), 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 (somente para o Cerrado), Outros Usos, Não Observado, Desflorestamento no Ano, Corpo D'Água e Natural Não Florestal (representa outros ecossistemas na Amazônia).

O mapa interativo do TerraClass foi evoluído a partir de ferramentas de código aberto, com os dados armazenados no PostgreSQL com a extensão PostGIS para implementar as consultas espaciais de forma otimizada. Esse sistema de geoinformações na Web 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, também, diagramas de transições de fluxos de Sankey, que combinam múltiplos mapas das classes temáticas ao longo dos anos e possibilitam a visualização das áreas relacionadas à uma transição selecionada [10].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 apresentam as áreas (km^2) das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos biomas Amazônia e Cerrado, para os anos de 2018 e 2022, respectivamente, bem como a diferença que representa a dinâmica entre os anos, cujos valores foram exportados por meio do mapa interativo.

Classe temática / Ano	Bioma Amazônia Área (km^2)			
	2018	2022	Dinâmica	Dinâmica (%)
Vegetação Natural Florestal Primária	3.096.966,64	3.050.433,87	-46.532,77	-1,50
Vegetação Natural Florestal Secundária	179.711,86	168.934,31	-10.777,55	-6,00
Natural Não Florestal	252.618,98	249.835,51	-2.783,47	-1,10
Silvicultura	5.263,48	5.502,82	239,33	4,55
Pastagem Arbustiva/Arbórea	109.972,15	99.532,25	-10.439,90	-9,49
Pastagem Herbácea	381.380,18	421.799,25	40.419,06	10,60
Cultura Agrícola Perene	3.381,76	3.905,40	523,64	15,48
Cultura Agrícola Semiperene	1.481,82	1.523,41	41,59	2,81
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo	9.548,17	8.749,72	-798,45	-8,36
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo	43.490,84	65.353,16	21.862,32	50,27
Mineração	1.377,27	2.524,46	1.147,19	83,29
Urbanizada	4.559,54	5.710,36	1.150,82	25,24
Outros Usos	401,23	841,50	440,26	109,73
Não Observado	5.178,23	5.213,72	35,49	0,69
Desflorestamento no Ano	8.032,64	13.195,94	5.163,29	64,28
Corpo D'Água	112.178,71	112.488,34	309,64	0,28
TOTAL	**4.215.543,51**	**4.215.543,51**	**0,00**	**0,00**

Tabela 1. Área e dinâmica das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos anos de 2018 e 2022 na Amazônia.

Classe temática / Ano	Bioma Cerrado Área (km²) 2018	2022	Dinânica	Dinânica (%)
Vegetação Natural Florestal Primária	997.415,36	958.244,67	-39.170,69	-3,93
Vegetação Natural Florestal Secundária	93.474,22	76.921,60	-16.552,62	-17,71
Silvicultura	36.892,49	33.137,92	-3.754,57	-10,18
Pastagem	564.737,42	595.673,95	30.936,53	5,48
Cultura Agrícola Perene	9.716,59	9.060,17	-656,42	-6,76
Cultura Agrícola Semiperene	42.147,12	33.906,07	-8.241,05	-19,55
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo	58.157,19	65.639,38	7.482,20	12,87
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo	145.564,75	173.202,49	27.637,74	18,99
Mineração	485,64	615,32	129,68	26,70
Urbanizada	8.693,85	8.071,21	-622,64	-7,16
Outras Áreas Edificadas	2.978,55	2.601,82	-376,73	-12,65
Outros Usos	490,78	168,18	-322,59	-65,73
Não Observado	0,14	0,00	-0,14	-100,00
Desflorestamento no Ano	7.105,91	10.569,53	3.463,62	48,74
Corpo D'Água	16.607,08	16.654,75	47,67	0,29
TOTAL	**1.984.467,09**	**1.984.467,09**	**0,00**	**0,00**

Tabela 2. Área e dinâmica das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos anos de 2018 e 2022 no Cerrado.

As Figura 3 e 4 exibem os gráficos de setores gerados pelo mapa interativo, mostrando as frequências relativas das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos biomas Amazônia e Cerrado em 2018 e 2022, respectivamente.

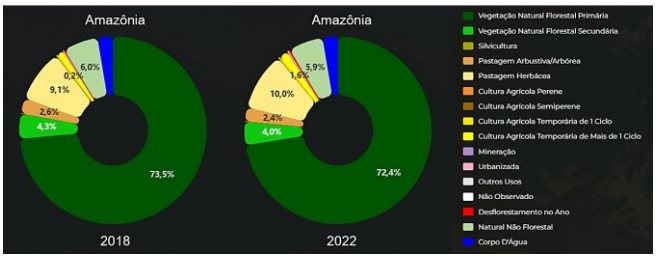


Figura 3. Frequências relativas das classes de uso e cobertura da terra na Amazônia em 2018 e 2022.

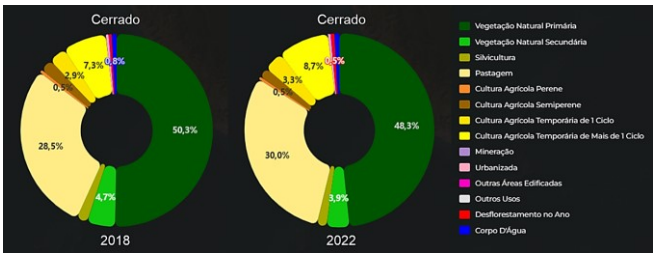


Figura 4. Frequências relativas das classes de uso e cobertura da terra no Cerrado em 2018 e 2022.

Pelos resultados da Amazônia, apresentados na Tabela 1 e na Figura 3, pode-se verificar que em 2022, aproximadamente 78,0% (3,3 milhões km²) correspondem a áreas naturais, representadas pela Vegetação Natural Florestal Primária ou Vegetação Natural Não Florestal, 4% (168,9 mil km²) são ocupados por Vegetação Natural Secundária, 12% (521,3 mil km²) são cobertos por pastagens e 2,0% (85,0 mil km²) pela agricultura, incluindo culturas agrícolas temporárias, semiperenes, perenes e silvicultura. Em relação a 2018, a Vegetação Florestal Natural Primária teve uma grande perda de mais de 46,5 mil km² (1,5%), relacionado ao aumento de 64,3% do desmatamento em 2022, em que também ocorreu a redução da Vegetação Natural Florestal Secundária de quase 11 mil km² (6,0%). Nesse período de 4 anos, pode-se constatar um aumento considerável da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo de 50,3% (21,9 mil km²) e da Mineração de 83,3% (1,1 mil km²), porém, a Cultura Agrícola de 1 Ciclo retraiu 8,4% (798 km²). A Pastagem Arbustiva/Arbórea perdeu 9,5% (10,4 mil km²) e a Pastagem Herbácea cresceu 10,6% (40,4 mil km²), o que mostra uma consolidação da pastagem no bioma, ocupando quase 422 mil km² em 2022.

Pelos resultados do Cerrado, mostrados na Tabela 2 e na Figura 4, pode-se observar que cerca de 48% (958,2 mil km²) correspondem à Vegetação Natural Florestal Primária, 4% (76,9 mil km²) são ocupados pela Vegetação Natural Florestal Secundária, 30% (595,6 mil km²) são cobertos por pastagens e 16% (314,9 mil km²) pela agricultura, incluindo culturas agrícolas temporárias, semiperenes, perenes e silvicultura. Em relação a 2018, a Vegetação Natural Florestal Primária também teve uma perda expressiva de mais de 39 mil km² (3,9%), relacionado ao aumento de 48,7% do desmatamento e, também, a uma redução da Vegetação Natural Florestal Secundária de quase 17 mil km² (17,7%). Nesse período de 4 anos, pode-se constatar um aumento acentuado da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo de 19,0% (27,6 mil km²) e da Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo de 12,9% (7,5 mil km²), o que indica a ocorrência de processos de intensificação e de expansão da agricultura, porém com uma redução de 19,6% (8,2 mil km²) da Cultura Agrícola Semiperene, que é a cana-de-açúcar. A Pastagem aumentou em 5,5% e ocupou 30,9 mil km² do bioma em 2022.

Para propiciar um melhor entendimento dos processos da dinâmica entre as classes temáticas, foi gerada uma matriz de transições a partir do mapa interativo, que cruza os resultados dos mapeamentos dos biomas Amazônia e Cerrado de 2018 e de 2022, como mostrado nas Figuras 5 e 6, respectivamente.



Figura 5. Matriz de transições entre as classes de uso e cobertura da terra entre 2018 e 2022 na Amazônia.



Figura 6. Matriz de transições entre as classes de uso e cobertura da terra entre 2018 e 2022 no Cerrado.

A diagonal principal da matriz de transições da Figura 5 mostra que na Amazônia, 94,2% das áreas dos usos e coberturas se mantiveram constantes entre os mapeamentos de 2018 e 2022, enquanto 5,8% do total das áreas referem-se às transições entre as classes temáticas no período de 4 anos. Com base nisso, pode-se verificar que a expansão das áreas de Pastagem Arbustiva/Arbórea e da Pastagem Herbácea ocorreu, principalmente, em 11,1% e 4,1% da Vegetação Natural Florestal Primária, e em 24,8% e 4,4% da Vegetação Natural Florestal Secundária, respectivamente. A expansão da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo ocorreu, prioritariamente, sobre pastagens (68,0%) e sobre áreas de Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo (26,0%). Apenas 1,5% da expansão ocorreu em áreas de Vegetação Natural Florestal. Já a expansão da Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo ocorreu em 5,0% de áreas de Vegetação Natural Florestal Primária e em 6,0% de áreas de Vegetação Natural Florestal Secundária. Os resultados corroboraram com a consolidação da pastagem e a expansão da agricultura no bioma.

A diagonal principal da matriz de transições da Figura 6 mostra que no Cerrado, 87,2% das áreas dos usos e coberturas se mantiveram constantes entre os mapeamentos de 2018 e 2022, enquanto 12,8% do total das áreas referem-se as transições entre as classes temáticas no período de 4 anos. Com base nisso, pode-se constatar que 68% das áreas de Culturas Agrícolas Temporárias de Mais de 1 Ciclo se mantiveram na classe em 2018. Já a expansão se deu, predominantemente, sobre áreas de Cultura Agrícola de 1 Ciclo e sobre a Pastagem. Apenas 38% da Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo de 2022 ocorreu sobre áreas dessa mesma classe em 2018. O restante da área representou a conversão de áreas de pastagem (46%), a retração de áreas de Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo (31%) e outros usos agrícolas. A expansão da Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo sobre áreas de Vegetação Natural Primária representou 5,6% do total. Os resultados evidenciaram a expansão da agricultura sobre pastagem e a intensificação de ciclos de produção agrícola no bioma.

4. CONCLUSÕES

Por meio de ferramentas computacionais disponíveis na Plataforma Digital TerraClass e com base nos novos mapeamentos dos biomas Amazônia e Cerrado, produzidos por meio de uma metodologia inovadora utilizando tecnologia desenvolvida no Brasil, foi possível gerar informações de maneira rápida sobre o uso e cobertura da terra e suas transições no período de 2018 a 2022.

Os dados do desmatamento detectaram perdas expressivas de áreas de vegetação natural em ambos os biomas no período de 4 anos. Na Amazônia foi possível verificar a consolidação da pastagem e a expansão da agricultura. Já no Cerrado foi possível constatar a expansão da agricultura sobre pastagens e a intensificação de ciclos de produção agrícola.

Os resultados demostraram o potencial dos dados e da Plataforma Digital TerraClass no apoio à gestão territorial. Futuramente os mapeamentos do TerraClass serão executados para os outros biomas, possibilitando analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra em todo o Brasil.

5. REFERÊNCIAS

[1] Fearnside, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

[2] Mueller, C. C.; Martha Jr, G. B. Agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente no Cerrado. In: F. G. Faleiro, A. L. F. Neto (Ed.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008, p.104-169

[3] Lambin, E. F.; Geist, H. J. *Land-Use and Land-Cover Change: local processes and global impacts.* Springer Science & Business Media, 2006.

[4] INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). *TerraBrasilis*. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 16 ago. 2024.

[5] 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. 108p. Brasília-DF, Belém-PA: Embrapa, INPE, 2013.

[6] 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

[7] INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). *TerraClass*. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

[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

[9] 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, 2428, 2021. doi.org/10.3390/rs13132428

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