ANÁLISE DA MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA EM LEM-BA POR MEIO DE MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL

Nildson Rodrigues de França e Silva [1], Ieda Del'Arco Sanches [1,2], Cláudia Maria de Almeida [1,2] e Marcos Adami[1,2]

[1]Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – PGSER, Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão – COEPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Avenida dos Astronautas, 1758 – 12227-010, São José dos Campos, Brasil, nildson.silva@inpe.br; [2]Divisão de Observação da Terra e Geoinformática – DIOTG, Coordenação-Geral de Observação da Terra – CG-CT, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Avenida dos Astronautas, 1758 – 12227-010, São José dos Campos, Brasil, {ieda.sanches@inpe.br, claudia.almeida@inpe.br, marcos.adami@inpe.br}.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal da cultura da soja em Luís Eduardo Magalhães na Bahia por meio de modelagem dinâmica espacial, para o período 2018-2022. Para análise foi utilizado o software Dinamica EGO, mapas de uso e cobertura da terra e atributos relacionados ao cultivo da soja. Com base nos resultados obtidos, percebeu-se que a metodologia é promissora, tendo sido possível analisar a tendência da dinâmica espaço-temporal da cultura e simular um mapa de uso e cobertura terra para a safra 2022/2023.

Palavras-chave — Dinamica EGO, Modelagem Dinâmica Espacial, Soja, LULCC.

ABSTRACT

This study aims to analyze the spatio-temporal dynamics of soy cultivation in Luís Eduardo Magalhães, Bahia, using spatial dynamic modeling for 2018-2022. The Dinamica EGO software, land use and land cover maps, and attributes related to soybean cultivation were used for the analysis. Based on the results obtained, it was found that the methodology is promising, and it was possible to analyze the trend of the spatio-temporal dynamics of the crop and simulate a map of land use and land cover for the crop year 2022/2023.

Key words — *Dinamica EGO, Spatial Dynamic Modeling, Soy, Land Use and Land Cover Change (LULCC).*

1. INTRODUÇÃO

No cenário mundial, de acordo com os dados do FAOSTAT [1], os cinco maiores produtores mundiais de soja, em 2022, foram o Brasil (121 Mton), Estados Unidos (116 Mton), Argentina (44 Mton), China (40 Mton) e Índia (13 Mton). As maiores produções de soja no Brasil, em 2023, ocorreram nos estados de Mato Grosso – MT (29%), Paraná – PR (14%), Goiás – GO (11%), Mato Grosso do Sul – MS (9%) e Rio Grande do Sul – RS (8%) [2].

O PRODES cita que a perda de vegetação nos biomas Amazônia (Floresta + Não Floresta), Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal de 2001 até 2023 foi: 80 Mha, 31 Mha, 12 Mha, 6 Mha, 4 Mha e 2 Mha, respectivamente. No bioma Cerrado e considerando o as áreas desmatadas de 2001 até 2022, 5,21 Mha da soja cultivada na safra 2022/2023 foi oriunda de áreas desmatada nos últimos 22 anos. A região que compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (BA), também conhecidos como MATOPIBA apresentou uma expansão da soja de 0,49 Mha em áreas de pastagem e de 0,92 Mha em conversão das áreas de vegetação natural, enquanto que os Outros Estados do Cerrado 3,63 Mha de soja expandiram em áreas de pastagem e 0,26 Mha sobre a cobertura vegetal natural, tendo o Cerrado apresentando um aumento significativo da conversão das áreas de vegetação nativa para soja durante as safras 2019/2020 e 2022/23 [3, 4].

Atentando-se às áreas de expansão da soja que estão diretamente relacionadas ao desmatamento, organizações da sociedade civil, do mercado consumidor dos países importadores do produto (i.e., soja e seus derivados) e acionistas de empresas responsáveis por adquirir estas mercadorias têm pressionado os fornecedores internacionais para fornecerem produtos socialmente e ambientalmente assegurados, i.e., soja não oriunda de áreas com histórico de desmatamento recente, que seja produzida de acordo com a legislação do país de origem e normas de sustentabilidade do mercado e que respeite os direitos humanos (principalmente dos indígenas e das comunidades locais). Diante disso, foram criadas iniciativas que busquem o cumprimento dessas demandas, como a Moratória da Soja [5] ou, mais recentemente, o Pacto Verde Europeu [6, 7, 8].

Em vista do exposto, surge então a necessidade da criação de metodologias que permitam antecipar possíveis mudanças de uso ou cobertura da terra. Diante disso, simular cenários pode ser uma forma de analisar, quantificar e identificar as localidades em que as mudanças de uso e cobertura da terra podem acontecer [9]. Modelos dinâmicos espaciais, em especial aqueles baseados em autômatos celulares, são muito utilizados em estudos de simulação de uso e cobertura da terra. Portanto, este estudo tem como objetivo simular as mudanças de uso e cobertura na terra com foco na dinâmica da soja dos anos-safra 2017/18 até

2021/22, no município de Luís Eduardo Magalhães (LEM) na BA, por meio de modelagem dinâmica espacial através da plataforma Dinamica EGO (D.E.).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o município de LEM situado no estado da BA na região do oeste baiano e, totalmente, contido pelo bioma Cerrado. O município apresenta uma área de 4.036,094 km², tendo um acumulado anual de precipitação de 1.059 mm, com temperaturas máximas variando entre 29 °C e 32 °C e mínimas entre 17 °C e 21 °C, e sendo o cultivo da soja realizado conforme o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), entre Novembro e Dezembro [10, 11, 12].

2.1. Mapa de uso e cobertura da terra

Para essa etapa, foram adotados os mapas de uso e cobertura e de vegetação secundária do MapBiomas coleção 8 (MB8) [13], os mapas de soja [14] desenvolvidos pelo *Global Land Analysis & Discovery* (GLAD) da Universidade de Maryland para os anos de 2018 e 2022, e a máscara de corpos d'água artificiais da Agência Nacional de Águas de 2020 [15]. Após aquisição das bases de uso e cobertura da terra que seriam adotadas, foi definida a legenda dos mapas de uso e cobertura da terra descrita na Tabela 1.

Com o fim de preparação das camadas de uso e cobertura da terra dos anos de 2018 a 2022, foi realizado o cruzamento dos mapas gerados para o município de LEM para fins de identificação e tratamento de possíveis transições espúrias no *Google Earth Engine* como, por exemplo, Agricultura e Silvicultura (ano de 2013) para Formação Natural Florestal (ano de 2015); nesse caso, a classe em 2015 seria Vegetação Secundária.

COLEÇÃO 8 - CLASSES	CLASSE ADOTADA	SIGLA
Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável (beta), Restinga Arbórea	Formação Natural Florestal	FNF
Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Restinga Herbácea, Outras Formações não Florestais	Formação Natural não Florestal	FNnF
Pastagem	Pastagem	PAST
Soja	Sojicultura*	SOJ
Cana, Arroz, Algodão (beta), Outras Lavouras Temporárias, Café, Citrus, Dendê (beta), Outras Lavouras Perenes, Silvicultura, Mosaico de Usos	Agricultura e Sivilcultura	AGR_SIL
Praia, Duna e Areal, Área Urbanizada, Mineração, Outras Áreas não Vegetadas	Outros	OUT
Rio, Lago e Oceano, Aquicultura	Corpo D'água - Natural**	CAN
OUTRAS FONTES	**CLASSE ADOTADA**	**SIGLA**
Produto do MB8 de Vegetação Secundária	Vegetação Secundária	VS
Massas d'água artificias da ANA	Corpo D'água - Artificial	CAA

* Áreas de soja do MB8 mais as do GLAD quando essas tinham no mínimo 1 ha e intersecção com áreas de Outras Lavouras Temporárias do MB8; ** A classe de Corpo D'água - Natural foi obtida por meio da sua diferença com a máscara de Corpos D'água artificiais da ANA.

Tabela 1. Legenda e fontes de dados utilizadas.

2.2. Simulação das mudanças de uso e cobertura da terra

Neste tópico, serão apresentadas as etapas realizadas para a calibração, validação e simulação dos mapas de uso e cobertura da terra no D.E.

2.2.1. Atributos de entrada

A Tabela 2 descreve as fontes e tipos de dados que foram adotados no processo de modelagem. Nota-se que foram definidos atributos relacionados, por exemplo, ao clima, solos, infraestrutura, de uso e cobertura da terra, cadastrais, áreas protegidas, estatísticas municipais, de terreno e econômicos. Entre os atributos disponíveis, é importante mencionar que o atributo de Valor da Terra para o ano de 2022 foi elaborado pelos autores utilizando a mesma metodologia e fontes de referências empregadas por [13, 16, 17].

Atributo	Tipo
Potencial Climático – Grãos [16], Potencial Solos – Grãos [16], Elevação, Declividade, PIB Valor Adicionado Bruto da Agropecuaria a Preços Correntes, PIB per Capita, Efetivo nº de cabeças bovinas, Efetivo nº de cabeças galináceos, Preço Médio Pago ao Produtor – Cana-de-Açúcar, Preço Médio Pago ao Produtor – Algodão, Preço Médio Pago ao Produtor – Milho, Preço Médio Pago ao Produtor – Soja, Rendimento Médio da Produção de Cana-de-Açúcar, Rendimento Médio da Produção de Algodão, Rendimento Médio da Produção de Milho, Rendimento Médio da Produção de Soja, Valor da Terra [13, 16, 17]	Contínuo
Unidades Armazenadoras, IBGE – Sede das Capitais do Brasil, IBGE - Sede dos Municípios do Brasil, IBGE - Trechos Ferroviários do Brasil, IBGE – Trechos Hidroviários do Brasil, IBGE - Trechos Rodoviários do Brasil, Frigoríficos e Matadouros Bovinos, Agricultura (sem soja) e Silvicultura, Pasto de alto vigor, Pasto de médio vigor, Pasto de baixo vigor, Soja consolidada, Vegetação Secundária, Portos exportadores de soja	Distância (Contínuo)
Embargos Ibama e ICMBio, Assentamentos, Florestas públicas sem destinação, Terras Indígenas no mínimo homologadas, Terras Indígenas ainda não homologadas, Territórios Quilombolas reconhecidos, Territórios Quilombolas em análise, UCs APAS (ICMBio + CNUC), UCs PI sem APAS (ICMBio + CNUC), UCs US sem APAS (ICMBio + CNUC), Acumulado PRODES até 2008, Acumulado PRODES a partir de 2009, Negativo do PRODES até 2008, Negativo do PRODES a partir de 2009	Distância (Contínuo) e Dummy

Tabela 2. Atributos utilizados na modelagem. UCs: Unidades de Conservação, APAS: Áreas de Proteção Ambiental, ICMBio: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, CNUC: Cadastro Nacional de UCs, PI: Proteção Integral e US: Uso Sustentável.

2.2.2. Parametrização, calibração e validação do modelo

Esta etapa foi iniciada com o cálculo das matrizes de passo único (*single step*) no D.E. através da cadeia de Markov. Para o estudo, foi considerado o período de 4 anos (2018 a 2022). Após a geração das matrizes de transição, foram produzidos cubos da variáveis contínuas e discretas para, respectivamente, os anos de 2018 e 2022.

Após a preparação dos cubos de dados para o município estudado, foram calculados os pesos de evidência para cada categoria discreta de variável evidência para cada categoria discreta de variável e para cada transição. Por meio do método bayesiano dos pesos de evidência, é possível avaliar a influência das variáveis utilizadas nas transições de uso e cobertura da terra.

É importante que os eventos devam ser independentes entre si, e devido a isso, foi realizada, para cada transição, uma análise pareada da associação ou dependência especial entre as variáveis explicativas por meio do coeficiente *Joint Information Uncertainty* (JIU), considerando valores iguais ou superiores a 0,5 a ocorrência de considerável associação espacial. Após a identificação de todos os pares de variáveis para cada transição que continham alguma associação espacial, realizou-se a análise dos pesos de evidência das variáveis, removendo-se da modelagem uma das variáveis. Posteriormente, foi feito o ajuste do algoritmo com funções de transição *expander* e *patcher*, que são inseridas no D.E para simulação dos mapas de uso e cobertura da terra de LEM no período de 2018 a 2022.

Por fim, foi feita a etapa de validação dos mapas simulados no D.E. por meio do método adaptado de [18] de

similaridade *fuzzy* (S.F.), que faz uso de uma função de decaimento constante ou exponencial. Uma vantagem dessa metodologia é o não cômputo das áreas de não mudança, que em muitos casos pode superestimar os índices de similaridade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra que as classes que apresentaram maior mudança em LEM de 2018 para 2022 foram AGR_SIL, SOJ e PAST em, respectivamente, 61%, 51% e 21%. Com relação ao cultivo da soja, as maiores expansões em LEM aconteceram em áreas de AGR_SIL (35,67%) e na classe OUT (10,27%), Vegetação Natural (FNF+FNnF) (1,48%) e PAST (0,78%). Aqui, é importante destacar que a soja da classe OUT pode vir da classe Outras Áreas Não Vegetadas do MB8, que no Cerrado podem ser áreas não permeáveis não mapeadas em suas classes, regiões de solo exposto em área natural ou áreas de cultura entre safra que não foram identificadas na sua respectiva classe. Esse padrão de tendência espacial da soja se enquadra no achado de [19], em que, para o MATOPIBA, da safra de 2013/2014 para 2021/2022, a tendência de proporção da cultura na área, em ordem, foi a de que 68% das áreas de soja da safra 2021/2022 eram áreas de soja na safra 2013/2014, seguido por 17% da expansão em áreas de Milho, Algodão, Cana 1º safra, Pousio ou outros usos, 9% em Vegetação Nativa e 5% em Pastagem.

		2022								
		FNF	FNnF	PAST	SOJ	AGR_SILV	OUT	CAN	VS	CAA
2018	FNF	99,65	0,00	1,21	0,62	9,06	0,10	0,00	0,05	0,00
	FNnF	0,00	98,57	0,10	0,86	6,23	0,39	0,05	0,24	0,00
	PAST	0,00	0,00	78,56	0,78	10,83	0,80	0,02	3,27	0,00
	SOJ	0,00	0,00	0,01	49,29	4,67	0,01	0,00	0,03	0,00
	AGR_SIL	0,00	0,00	5,60	35,67	38,51	1,23	0,02	1,49	0,00
	OUT	0,36	1,43	4,18	10,27	13,21	93,79	0,09	1,32	0,00
	CAN	0,00	0,00	2,02	0,00	5,68	1,50	99,69	5,54	0,00
	NO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	VS	0,00	0,00	8,31	2,51	11,81	2,19	0,14	88,06	0,00
	CAA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

Tabela 3. Percentuais anuais de transição das classes de uso e cobertura da terra de LEM, do período de 2018 a 2022.

Os resultados do índice de S.F. para o mapa simulado de 2022, considerando tanto o decaimento constante quanto o exponencial, estão dentro do limite aceitável que segundo [20], valores do índice variando entre 0,4 e 0,5 em janelas de amostragem com tamanhos de 3x3 a 5x5 pixels para o decaimento exponencial indicam faixas aceitáveis de qualidade da simulação. Diante do exposto, os valores encontrados estão dentro desse intervalo, e em algumas janelas de maiores dimensões, apresentam valores que chegam a 0,62, como na janela 11x11 pixels (Tabela 4).

Janela	Constante		Exponencial	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1 x 1	0,35	0,35	0,35	0,35
3 x 3	0,43	0,43	0,40	0,41
5 x 5	0,48	0,49	0,43	0,43
7 x 7	0,54	0,54	0,45	0,45
9 x 9	0,58	0,58	0,45	0,46
11 x 11	0,62	0,62	0,46	0,46

Tabela 4. Índices de S.F. segundo as funções de decaimento constante e exponencial para distintos tamanhos de janela.

As estimativas de área realizadas pelo modelo para o ano-safra 2022/2023 estão próximas ao mapeado pelo GLAD e também com os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (valor de referência), apresentando desvios positivos de 9% e 10%, respectivamente (Tabela 5). Contudo, diferentemente do GLAD, além de identificar as áreas de soja no município, o D.E. apresenta um conjunto de saídas, como mapas de probabilidade indicando as regiões que podem passar por alguma mudança de uso e cobertura da terra ou a dependência espacial entre as variáveis utilizadas para calibração do modelo. Dessa forma, o modelo não só permite conhecer tendências da safra 2022/2023, mas também da 2023/2024.

	Área (ha)	Desvio Dinamica EGO (%)
IBGE*	214.676	10
GLAD	215.937	9
Dinamica EGO	235.159	-

*Referência

Tabela 5. Comparação entre a soja simulada pelo Dinamica EGO e outras estimativas de área da cultura para 2023.

A Tabela 6 e a Figura 1 mostram que houve bastante semelhança entre a imagem de uso e cobertura da terra de referência de 2022 e a simulada para o mesmo ano. Nota-se que existem algumas oportunidades de melhoria no processo de calibração para diminuir a leve subestimativa da classe de PAST e AGR_SIL, além de refinar outras classes da legenda que foram superestimadas. Ajustes nos parâmetros de tamanho médio e variância de tamanho das manchas poderiam ser uma solução nesse sentido.

Em relação à simulação para 2023, percebe-se que houve uma diminuição das áreas de VS, FNF e FnnF, e aumento da área de PAST, SOJ, AGR_SIL e a classe OUT. Para 2023, o modelo informa que a cultura da soja abrangia 53,13% da área de LEM, e em 2023, passou para 56,26%, sendo esses 5,13% de diferença compostos, aproximadamente, em 70% pela classe AGR_SIL, o que representa um padrão de expansão que vem acontecendo desde 2018.

	REF-22	S22	S23
FNF	18,05	18,69	13,88
FNnF	9,87	10,02	8,89
PAST	1,76	1,28	1,81
SOJ	52,71	53,13	58,26
AGR_SIL	13,63	13,12	13,52
OUT	1,67	1,67	1,86
CAN	0,02	0,02	0,02
VS	2,23	2,00	1,69
CAA	0,06	0,06	0,06

Tabela 6. Percentual das classes de uso identificadas em LEM na camada de referência (REF-22), simulada para 2022 (S22) e 2023 (S23).

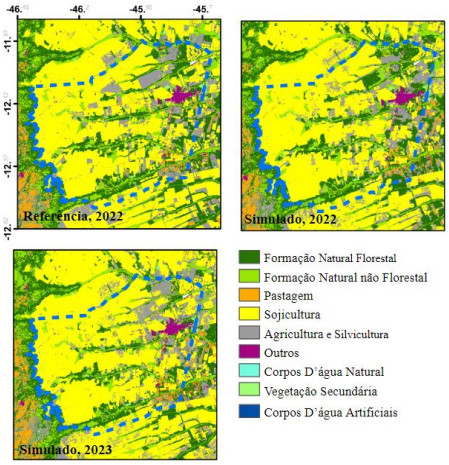

Figura 1. Mapa de uso e cobertura da terra de referência e os resultados das simulações.

4. CONCLUSÕES

A elaboração de mapas de uso e cobertura da terra por meio do D.E. se mostrou promissora, visto que os resultados obtidos foram bem próximos aos de referência, inclusive o mapa simulado para a safra 2022/2023, permitindo conhecer a tendência da dinâmica espacial da soja no município de LEM. Desta forma, percebeu-se que grande parte da soja cultivada no ano-safra 2017/2018 se manteve como soja na safra 2021/2022, e de acordo com o mapa simulado para 2022/2023, essa tendência se manteve. Além disso, quanto à expansão de outras áreas, foi identificado que a soja em sua grande maioria expandiu em áreas já antropizadas com histórico de agricultura e silvicultura.

Essas primeiras análises com o D.E. se mostraram oportunas, contudo, mais estudos serão realizados para melhoria dos resultados. Por exemplo, o refinamento dos valores do Índice de Isometria, que podem variar para cada transição. Neste estudo, porém, foi considerado um único valor padrão para todas as classes. Um ponto adicional é que, neste estudo, verificou-se o resultado da simulação para apenas um ano-safra (2022/2023), mas para o futuro, seria interessante analisar a qualidade dos resultados das simulações para horizontes de tempo maiores.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao GPP/ESALQ/USP, por disponibilizar os dados de Valor da Terra e do Potencial Climático e do Solo para o cultivo de grãos. FAPESP nº. 2020/09215-3, CNPq nº. 311324/2021-5 e 306334/2020-8.

6. REFERÊNCIAS

[1] FAOSTAT. **FAO Global Statistical Yearbook, FAO Regional Statistical Yearbooks.** 2022. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. Acesso em: 27 out. 2024.
[2] IBGE. **Produção Agrícola Municipal (PAM).** 2022. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas. Acesso em: 20 out. 2024.
[3] TerraBrasilis. **PRODES (Desmatamento).** 2024. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/. Acesso em: 20 out. 2024.
[4] Serasa Experian S.A.- Agribusiness. **Dinâmica da expansão da soja de 2014 a 2023 e disponibilidade de áreas com aptidão agrícola no bioma Cerrado.** 2024. Disponível em: https://abiove.org.br/abiove_content/Abiove/Relatorio-de-Cerrado-2024-versao-final-portugues-1.pdf. Acesso em: 27 out. 2024.
[5] RUDORFF, B.F.T., ADAMI, M., RISSO, J., DE AGUIAR, D.A., PIRES, B., AMARAL, D., FABIANI, L., CECARELLI, I. Remote Sensing Images to Detect Soy Plantations in the Amazon Biome—The Soy Moratorium Initiative. **Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 1074–1088, maio 2012.
[6] COMISSÃO EUROPEIA. **Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões – Pacto Ecológico Europeu.** 2019. Disponível em: https://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 20 out. 2024.
[7] FUCHS, R., BROWN, C., ROUNSEVELL, M. **Europe's Green Deal offshores environmental damage to other nations**. 2020. Nature <London>, 586 (7831), 671–673. doi:10.1038/d41586-020-02991-1
[8] EUROPEAN PARLIAMENT. **Towards deforestation-free commodities and products in the EU.** 2022. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2022)698925. Acesso em: 20 out. 2024.
[9] ARCOVERDE, G. F. B. **Modelagem dinâmica espacial da expansão da área de cana-de-açúcar: Quirinópolis (GO).** 2013. 181p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.
[10] IBGE. **Panorama.** 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/luis-eduardo-magalhaes/panorama. Acesso em: 20 out. 2024.
[11] CLIMATEMPO. **Climatempo**. 2024. Disponível em: https://www.climatempo.com.br. Acesso em: 20 out. 2024.
[12] MAPA. **Portarias do ZARC – Safra Vigente** 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico. Acesso em: 20 out. 2024.
[13] PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil.** 2023. Disponível em: https://mapbiomas.org/. Acesso em: 20 out. 2024.
[14] SONG, X.P., HANSEN, M.C., POTAPOV, P., ADUSEI, B., PICKERING, J., ADAMI, M., LIMA, A., ZALLES, V., STEHMAN, S.V., DI BELLA, C.M., CONDE, M.C., COPATI, E.J., FERNANDES, L.B., HERNANDEZ-SERNA, A., JANTZ, S.M., PICKENS, A.H., TURUBANOVA, S., TYUKAVINA, A. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. **Nature Sustainability**, v. 4, n. 9, p. 784–792, set. 2021.
[15] ANA. **Massas d'Água.** 2020. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c. Acesso em: 20 out. 2024.
[16] SAFANELLI, J.L., NÓIA JÚNIOR, R. DE S., COUTINHO, P.A.Q., ARAUJO, M.A. DE, FENDRICH, A.N., RIZZO, R., et al. Grain-cropping suitability for evaluating the agricultural land use change in Brazil. Applied Geography, 154, 1-13. doi:10.1016/j.apgeog.2023.102937
[17] Instituto Escolhas. **Como o Agro brasileiro se beneficia do desmatamento?**. Sumário Executivo. São Paulo, 2022. Disponível em: https://escolhas.org/wp-content/uploads/Como-o-Agro-brasileiro-se-beneficia-do-desmatamento_SE.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.
[18] HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235-249, 2003.
[19] ABIOVE. **Análise geoespacial da expansão da soja no bioma Cerrado: 2000/01 a 2021/22.** 2022a. Disponível em: https://abiove.org.br/. Acesso em: 20 out. 2024.
[20] Macedo, R.D.C., Almeida, C.M.D., Santos, J.R.D., & Rudorff, B.F.T. (2013). Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 19, 313-337.