



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS ALTERAÇÕES GEOESPACIAS NA REGIÃO DO MATOPIBA, BRASIL

TEMISTOCLES PACHECO LIMA

Orientador: Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Coorientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira

Urutaí-GO, Junho de 2020



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

**Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do
Cerrado**

Coordenador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Urutaí-GO, Junho de 2020

TEMISTOCLES PACHECO LIMA

**Dinâmica espaço-temporal das alterações geoespaciais na
região do MATOPIBA, Brasil**

Orientador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Coorientador

Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO)
2020

*“Eu tenho um sonho. O sonho de ver meus
filhos julgados por sua personalidade, não
pela cor de sua pele. ”
(Martin Luther King)*

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Pacheco Lima, Temistocles
PT279d DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS ALTERAÇÕES
GEOESPACIAS NA REGIÃO DO MATOPIBA, BRASIL /
Temistocles Pacheco Lima; orientador Prof. Dr. Daniel
de Paiva Silva; co-orientador Prof. Dr. Manuel
Eduardo Ferreira. -- Urutaí, 2020.
36 p.

Dissertação (em Programa de Pós-Graduação em
Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) --
Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2020.

1. Cerrado. 2. MODIS. 3. Índice de vegetação,. 4.
Temperatura de superfície,. 5. Umidade do solo. I. de
Paiva Silva, Prof. Dr. Daniel, orient. II. Eduardo
Ferreira, Prof. Dr. Manuel, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 26/08/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

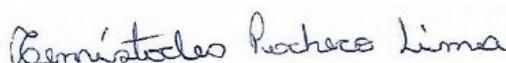
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Corrente-PI
Local

, 26/08/2020
Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Declaração 20/2020 - CREPG-UR/CCPG-UR/DPGPI-UR/DG-URT/CMPURT/IFGOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação: Dinâmica espaço-temporal das alterações geoespaciais na região do MATOPIBA, Brasil

Orientador: Daniel de Paiva Silva

Autor: Temístocles Pacheco Lima

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em **26 de junho de 2020**, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva - Orientador
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Prof. Dr. André Luis da Silva Castro
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Prof. Dr. João Batista Lopes da Silva
Universidade Federal do Sul da Bahia

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Batista Lopes da Silva, JOÃO BATISTA LOPES DA SILVA - 234310 - PROFESSOR DE ENGENHARIA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA (18560547000107)**, em 01/07/2020 15:10:05.
- **Andre Luis da Silva Castro, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 30/06/2020 19:46:56.
- **Daniel de Paiva Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 30/06/2020 18:32:29.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/06/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 159052

Código de Autenticação: d20528d522



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, Zona Rural, None, URUTAI / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

AGRADECIMENTOS

A DEUS por iluminar o meu caminho com aprendizado, mentalidade, conhecimento, conquistas, oportunidades e amizades. Amém.

A minha família e principalmente, aos meus pais. Dedico esse título de mestrado aos meus pais, Luiz Inácio Lima e Maria da Guia Pacheco Lima.

A minha esposa Katiuscia Lins Porto Pacheco pelo companheirismo, motivação, amor e carinho.

A minha família de Corrente-PI, Pedro e Maria Lustosa, Paulo Oliveira e Aline Lustosa pelo carinho, amor e receptividade.

Aos meus amigos e companheiros do mestrado Anaian Bembem, Rômulo Lustosa e Ítalo Rômulo Souza pelo companheirismo, alegrias, motivação e agonias, carinho, amizade, amor e conhecimento compartilhados durante esse desafio.

Aos meus amigos Fabrina Ferraz e Luciano França pelo compartilhamento de informações científicas, disponibilidade e a ajuda nesse trabalho.

Ao professor Daniel Silva pela paciência, cobrança, companheirismo e aprendizado compartilhado. Ao Professor Manuel Ferreira e a sua orientada Lana pela ajuda e disponibilidade. Ao Professor Anderson Silva pela análise de correlação cruzada e o Professor Lisandro Pereira pelo auxílio no processo dos dados.

Aos membros da banca por contribuírem com esse trabalho. Aos professores e colegas do mestrado pela contribuição na minha qualificação profissional. Ao IFGoaino – Campus Urutaí pela estrutura e por permitir ter acesso a um mestrado profissional.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
2.1. Caracterização da área de estudo.....	5
2.2. Planos remotos de informações ambientais e climáticos.....	6
2.3. Cobertura do solo.....	7
2.4. Análise dos dados e mapas.....	8
3. RESULTADOS.....	9
4. DISCUSSÃO.....	14
5. CONCLUSÃO.....	17
6. REFERÊNCIAS.....	17

LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Fronteira agrícola MATOPIBA e suas mesorregiões, situado entre norte e o nordeste do Brasil.....	5
Figura 2. Fluxograma do método adotado neste estudo na fronteira agrícola MATOPIBA....	9
Figura 3. Mapas de cobertura e uso do solo da fronteira agrícola MATOPIBA, no intervalo anual entre 2008 a 2018.....	10
Figura 4. Quantificação em porcentagem das classes de cobertura e uso do solo para os estados da fronteira agrícola MATOPIBA, entre anos de 2008 a 2018.....	11
Figura 5. Variação temporal do percentual de cada classe de cobertura existente e uso do solo entre 2008 e 2018 para o MATOPIBA.....	12
Figura 6. Mapas das variáveis ambientais e climáticas calculadas para a fronteira agrícola MATOPIBA, nos anos de 2008 e 2018. Os histogramas demonstram a frequência das variáveis. Onde eixo y representa o número de pixel e o x simula o valor da variável.....	13
Figura 7. Correlograma para séries temporais (2008 - 2018) de NDVI, LST e US. <i>Lags</i> positivos (eixo x) indicam adiantamento da primeira série e negativos atraso da última série. As linhas tracejadas representam os limites do intervalo de 95% de confiança para a correlação...	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Reclassificação da cobertura do solo.....	7
Tabela 2. Coeficiente de correlação adaptado de Santos e Toledo Filho (2014).....	8

RESUMO

O Brasil é líder mundial no agronegócio, se destacando, principalmente, na produção da soja e carne bovina. Esta atividade tem uma importante contribuição para produto interno bruto (PIB) do país, representando 21,4% (R\$ 1,5 tri) de R\$ 7,3 trilhões em 2019. No entanto, essa atividade está concentrada no domínio Cerrado, que é considerado um “*hotspot*” para conservação mundial e que vem sofrendo significantes alterações na paisagem desde as décadas de 1960-80. No presente estudo analisamos a dinâmica espaço temporal da cobertura do solo na paisagem da fronteira agrícola MATOPIBA e a correlação entre variáveis remotas ambientais e climáticas entre 2008 a 2018. Realizamos um levantamento da cobertura do solo com auxílio da plataforma MAPBIOMAS e extraímos as variáveis remotas ambientais e climáticas [índice de vegetação - NDVI, umidade e temperatura do solo (US e LST, respectivamente)] por meio *Earth Engine Data Catalog*. Depois, efetuamos uma análise descritiva dos dados e aplicamos um teste de correlação cruzada para variáveis remotas. Com base nos resultados, durante a série temporal analisada, a classe Agricultura apresentou maior crescimento no Piauí, seguindo pela Bahia, com 7,2% e 4,8%. No MATOPIBA, o Cerrado teve redução em torno de 5,1% e classes de Pastagem e Agricultura cresceram, onde áreas agrícolas tiveram uma maior taxa de expansão. Verificamos que os pares de variáveis têm correlação significativa, onde a diminuição do NDVI propicia o aumento da LST e, conseqüentemente, reduz a US com ênfase nas zonas agrícolas e pecuárias. Já o NDVI alto favorece a proteção da umidade solo, destacando as áreas de vegetação densa. Os resultados obtidos evidenciam que a expansão da agropecuária na fronteira MATOPIBA está em pleno crescimento em detrimento da cobertura do Cerrado e uma forte relação entre as variáveis ambientais e climáticas da fronteira.

Palavras-chave: Cerrado, MODIS, Índice de vegetação, Temperatura de superfície, Umidade do solo.

ABSTRACT

Brazil is a world leader in agrobusiness, especially in soybean and meat production. This activity plays a key role on the country's gross domestic product (GDP), which represented 21.4% (R\$ 1,5 tri) out of R\$ 7.3 trillion in 2019. However, this activity is concentrated within the Cerrado domain, which is considered a hotspot to the world's conservation and which has been suffering significant modifications on its landscape since the 1960-80s. In this study, we analyzed the spatio-temporal dynamics of soil cover on the landscape of the MATOPIBA agricultural frontier as well as the correlation between remote environmental and climatic variables from the year 2008 to 2018. We evaluated soil cover by using the platform MAPBIOMAS and extracted remote environmental and climatic variables [vegetation index - NDVI, and soil moisture content and temperature (US and LST, respectively)] through the *Earth Engine Data Catalog*. Afterwards, we conducted a descriptive analysis on our data and applied a crossed correlation test to the remote variables. Based on our results, during the analyzed temporal series the class Agriculture showed increased growth in Piauí, followed by Bahia with 7.2% and 4.8%. In MATOPIBA, Cerrado was reduced around 5.1% while Pasture and Agriculture areas increased, where agricultural areas had a higher expansion rate. We found that the pairs of variables have a significant correlation, where a reduction in NDVI causes an increase in LST, which as a result reduces US, especially in agricultural and ranching zones. A high NDVI favors the protection of soil moisture content, particularly in areas of dense vegetation. The results show that the expansion of the MATOPIBA agriculture frontier is in full growth to the detriment of the Cerrado cover and a strong correlation between the environmental and climatic variables on the frontier.

Keywords: Cerrado, MODIS, Vegetation index, Surface temperature, Soil moisture.

1. INTRODUÇÃO

O domínio Cerrado, que conta com mais de 4.800 espécies de plantas endêmicas (Myers *et al.*, 2000), é considerado um “*hotspot*” para conservação da biodiversidade mundial. Este bioma brasileiro é o segundo maior do país, com mais de 2 milhões km², aproximadamente 23,9% do território nacional (Klink & Moreira, 2002 e 2005; IBGE, 2004; MMA, 2018). O Cerrado também é estratégico para a conservação dos recursos hídricos (Latrubesse *et al.*, 2019), pois abrange três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, contribuindo com 43% das águas superficiais do Brasil fora da Amazônia (Myers *et al.*, 2000).

Entretanto, apesar da sua importância ambiental, nos últimos 55 anos, mais de 50% da sua vegetação nativa já foi convertida em outros diferentes usos, sobretudo, aqueles relacionados à expansão do agronegócio (Beuchle *et al.*, 2015; MMA, 2015; Lapola *et al.*, 2019). Atualmente esta região brasileira também é considerada como o celeiro do Brasil, onde a produção de soja, milho, cana de açúcar e carne bovina são significantes (Strassburg *et al.*, 2017; Sano *et al.*, 2019). Desta maneira, é claro o conflito de interesses relacionado a este bioma, envolvendo as contínuas pressões para supressão florestal, que possibilitam maior produção agrícola, e pressão conservacionista para a manutenção do que resta do bioma preservado (Fernandes *et al.*, 2016; Pereira & Pauli, 2019; Bolfe *et al.*, 2020).

A expansão do agronegócio brasileiro possibilitou o surgimento de uma nova fronteira agrícola no Cerrado brasileiro e que foi institucionalizada pelo decreto N° 8.447, de 6 de maio de 2015 (BRASIL, 2015): o MATOPIBA, por incluir faixas territoriais do Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia. Esta fronteira agrícola possui uma área aproximada de 73 milhões de hectares e é considerada uma região brasileira estratégica para futuros investimentos no país (Miranda *et al.*, 2014; Bolfe *et al.*, 2016; Araújo *et al.*, 2019). Cerca de 91% da região do MATOPIBA está inserida no domínio do Cerrado (Reis *et al.*, 2020). Nesta região, qualidades geográficas como relevo plano, solos profundos e bem drenados, terras a preços atrativos e clima propício favorecem a mecanização agrícola e, conseqüentemente, o cultivo de grãos e a produção de carne (Borghetti *et al.*, 2014; Miranda *et al.*, 2014; EMBRAPA, 2019;). Nesse sentido, as projeções do agronegócio são promissoras para a região, com perspectivas de incremento expressivo na extensão das áreas plantadas e na produção de grãos para a safra 2028/29, representando aumentos de 15% e 29%, respectivamente, em relação safra de 2018/19 (MAPA, 2019).

No entanto, cabe ressaltar que apesar dos importantes benefícios socioeconômicos atrelados ao desenvolvimento do agronegócio na região do MATOPIBA, são notórios os

potenciais impactos negativos sobre os ecossistemas nativos, decorrentes da exploração dos recursos naturais e conversão da vegetação natural. Alguns dos principais impactos negativos associam-se direta ou indiretamente à/ao: 1) desmatamento e fragmentação florestal, os quais podem causar isolamento genético de espécies de fauna e flora (Saeki et al., 2018, Kobayashi & Sota, 2019); 2) redução dos estoques de carbono e biomassa florestal (Islam et al., 2017; Rolo et al., 2018); 3) deterioração da qualidade da água de bacias hidrográficas (Brognia et al., 2018; Mello et al., 2018); e 4) perda de proteção dos solos (Lam et al., 2018). Contudo, entre os anos de 2000 e 2016, apenas a área dedicada à produção agrícola no MATOPIBA cresceu 40,9% (Matricardi et al., 2019). No intervalo de 2009 a 2010, os estados no MATOPIBA foram responsáveis pela maior porção de área desmatada no Cerrado (MMA, 2011).

Assim, estudos relacionados à situação ambiental da fronteira agrícola do MATOPIBA geram diagnósticos que podem subsidiar informações para desenvolvimento sustentável do agronegócio, possibilitando a elaboração de políticas públicas e programas de conservação. Entre estes, investigações sobre como se deram as alterações na cobertura do solo ganham destaque por tratarem-se de monitoramentos, principalmente, acerca da dinâmica da vegetação nativa (Spera et al., 2016; Kastens et al., 2017; Matricardi et al., 2019; Zalles et al., 2019). Adicionalmente, a inserção de variáveis relacionadas às condições climáticas tem se mostrado uma eficiente ferramenta para estimativas de mudanças ambientais. É o caso da temperatura de superfície terrestre, que pode fornecer importantes resultados quanto ao manejo de culturas e anomalias climáticas. Isto pode ser exemplificado com os trabalhos de Zhou e Wang (2011), Fathizad et al. (2017), Salvador e Brito (2018), Heck et al. (2019) e Nega et al. (2019).

Tendo em vista a expansão do agronegócio e a situação dos recursos naturais, neste trabalho consideramos a hipótese de que uma parcela expressiva do desmatamento ocorrido no Cerrado da região do MATOPIBA ao longo dos últimos anos (2008-2018) é explicada pela atividade agrícola. Além disso, admitimos *a priori* que variáveis relacionadas à retirada da vegetação e umidade do solo podem ser correlacionadas com a temperatura de superfície desta fronteira agrícola. Desse modo, objetivou-se nesse estudo investigar o padrão espaço temporal da cobertura do solo na fronteira agrícola MATOPIBA e a relação entre variáveis remotas ambientais e climáticas ao longo tempo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho abrange a região do MATOPIBA, a qual contempla parte dos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e todo o estado do Tocantins, que representam 33%, 11%, 18% e 38% da área total da região, respectivamente, incluindo 377 municípios e 10 mesorregiões (Figura 1). Considerado uma fronteira agrícola brasileira, o MATOPIBA está situado entre o semiárido e a Amazônia brasileiros, apresentando cerca de 73 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 91% fazem parte do domínio do Cerrado (Miranda et al., 2014; Salvador; Brito, 2017; Araújo et al., 2019; Reis et al., 2020).

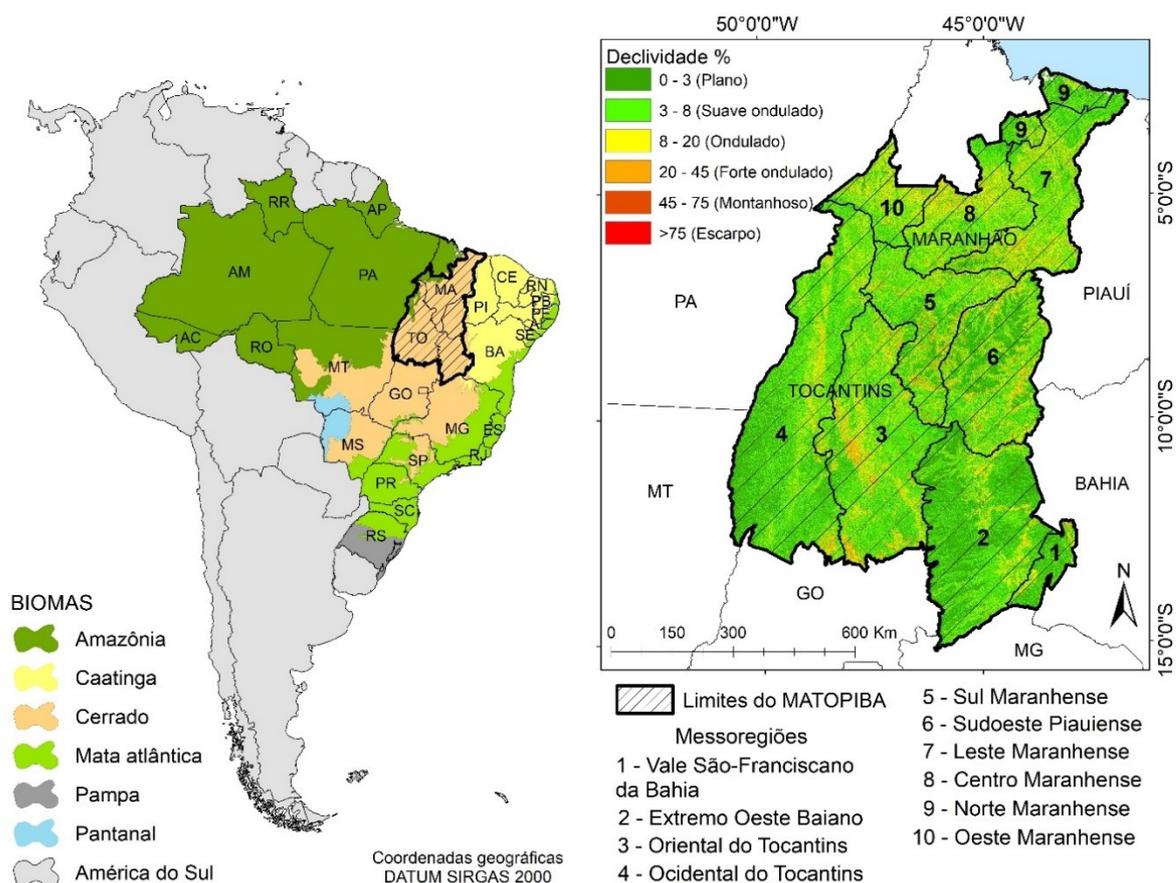


Figura 1. Fronteira agrícola MATOPIBA e suas mesorregiões, situado entre norte e o nordeste do Brasil.

Adicionalmente, como principais características ambientais, a região do MATOPIBA possui cerca de 82% de suas áreas sob relevo plano ou suavemente ondulado (Bolfé et al., 2016), com os latossolos como classe de solos predominante (Santos et al., 2011; EMPRABA, 2014). Segundo a classificação climática de Köppen, trata-se de uma região tropical de inverno

seco (Aw), distinguindo-se uma estação chuvosa (de outubro a abril) e uma seca (de maio a setembro), ambas bem explícitas (Alvares et al. 2014).

2.2. Planos remotos de informações ambientais e climáticos

Todos os procedimentos metodológicos que utilizamos neste trabalho estão apresentados na Figura 2 e trabalhamos todas as etapas de processamento no ambiente do *software* ArcGIS 10.5 (ESRI, 2015) e os dados que utilizamos são de fontes gratuitas de acesso aberto (Figura 2). No desenvolvimento deste estudo adotamos uma série temporal anual entre anos de 2008 e 2018 (Figura 2A). Com base na disponibilidade das imagens e devido à grande extensão territorial da área de estudo, utilizamos as imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Resolution Imaging*), da plataforma terra (Choa & Ramoeloc, 2019; Mondala et al. 2020).

Por meio do *Earth Engine Data Catalog* (<https://developers.google.com/earth-engine/datasets>), adquirimos as variáveis Índice de Vegetação com Diferença Normalizada - NDVI (Obtivemos a variável índice de vegetação através do produto MOD13A2, o qual apresenta uma resolução temporal de 16 dias e considera o melhor valor disponível do pixel, com uma amplitude entre -2000 a 10000 (Huete et al., 2002; Didan, 2015). Este produto é gerado através da refletância da superfície nas faixas do infravermelho e vermelho com uma resolução espacial de 1000 m (Rouse et al. 1974; Sun et al. 2015; Militino et al. 2017)); Temperatura de Superfície do Solo - LST (Adquirimos a temperatura diurna através do produto MOD11A2, que contém unidade de medida em Kelvin, resolução temporal de 8 dias e espacial de 1000 m (Sruthi & Aslam, 2015; Aguilar-Lomea et al. 2019). A temperatura é derivada da banda termal, qual definiram cada valor de pixel através da média simples de todos os pixels sem nuvens da versão anterior MOD11A1 (Wan et al. 2010; Mao et al. 2017)) e Umidade Superficial do Solo - US (Em relação à umidade, nós a adquirimos do conjunto dados da TerraClimate (Abatzoglou et al. 2018), abrangendo inúmeras variáveis meteorológicas por meio da interpolação dos dados do WorldClim (Wang et al. 2019; Sannigrahi et al. 2020). Além disso, possui uma resolução temporal mensal e a espacial de 4000 m (Abatzoglou et al. 2018)) (Figura 2A).

. Quanto às datas dos produtos, para o NDVI e a LST usamos duas datas: 09 de junho para os anos de 2008 e de 2016 e 10 de junho para os demais anos, visando uma uniformidade no período de amostragem. Para a US utilizamos apenas uma data para todos os anos, 01 de

junho. Como critérios adotados na seleção desses períodos, consideramos a disponibilidade das imagens e a qualidade destas, verificada a partir da presença de falhas ou fendas.

Com o auxílio da plataforma do *Google Earth Engine* (GGE) executamos o *download* dos produtos anteriormente mencionados (Gorelick et al., 2017), aplicando o *shapefile* do MATOPIBA como critério de delimitação de área (Figura 2B). Adquirimos a LST com temperatura em graus Celsius (Jamei et al. 2019). Em seguida, processamos essas imagens, alterando o sistema de coordenadas para SIRGAS 2000 UTM. Em todas as imagens dos produtos NDVI, LST e US realizamos um redimensionamento do pixel para 1000 m de resolução espacial (Figura 2C).

2.3. Cobertura do solo

Na cobertura do solo (CS) selecionamos a coleção 4.1 do projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil – MAPBIOMAS (MAPBIOMAS, 2020) (Figura 2A). Esta base de dados foi desenvolvida por métodos de processamento avançado, que envolvem uma grande rede colaborativa (universidades, ONGs e empresas) e a tecnologia do Google Earth Engine, utilizando imagens Landsat com 30 m de resolução espacial (Bonanomi et al., 2017; Wang et al., 2019a; Oliveira Fiorini et al., 2020).

A plataforma do *Google Earth Engine* (GGE) permitiu coletar as imagens entre os anos de 2008 a 2018, anualmente (Figura 2B). O mapeamento do uso e cobertura do solo disponibilizado pelo MAPBIOMAS (<https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>) contém grande riqueza de detalhes, com a identificação de várias e distintas feições. Neste estudo, para a metodologia proposta, tal especificidade não é de grande interesse. Sendo assim, efetuamos uma reclassificação (Figura 2D), agrupando as classes com fisionomias semelhantes em um grupo geral (MAPBIOMAS, 2020), objetivando uma análise mais otimizada da dinâmica do uso do solo ao longo tempo. Apresentamos na Tabela 1 as classes originais provenientes do mapeamento do MAPBIOMAS e as novas classes formadas após a reclassificação.

Tabela 1. Reclassificação da cobertura do solo.

Reclassificação	Classes agrupadas (classes originais)
Floresta / Formação Natural	Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta
Não Floresta	plantada, Área úmida Natural Não Florestal, Formação Campestre, Apicum e Outra Form. Natural Não Florestal

Pastagem	Pastagem, Mosaico de Agricultura e Pastagem
Agricultura	Cultura Semi-Perene, Cultura Anual e Perene
Outras	Mineração, Infraestrutura Urbana, Aquicultura, Praia e Duna

2.4. Análise dos dados e mapas

No ambiente GIS, criamos uma malha amostral aleatória com 1500 pontos para coletar os dados das variáveis NDVI, LST e US, ano a ano (Figura 2G). Posteriormente, exportamos e organizamos tais dados para a análise estatística.

Para verificar a relação/associação linear ao longo do tempo entre as variáveis, utilizamos o *software* R (R_Core Development Team, 2020) e aplicamos um teste de correlação (coeficiente de Person) cruzada ao nível de 95% de probabilidade (Figura 2G), considerando as médias anuais das variáveis, que trata do período de 10 anos (2008-2018) (Jiang et al., 2017; Chu et al., 2019). Na investigação da interferência do tempo entre as variáveis, verificamos através da correlação cruzada, se o NDVI afeta LST nos anos seguintes (adiantamento do tempo/lag +ano) e a LST influencia NDVI nos anos anteriores (defasagem do tempo/lag -ano) para 7 anos, aplicando o mesmo para demais combinações, NDVI vs US e LST vs US.

O resultado foi um correlograma que fornece um nível de correlação (*cross-correlation*) que varia de -1 a 1, ou seja, quanto mais próximo dos limites, maior a relação entre as variáveis; se a correlação for igual zero, não existe relação entre as variáveis (Tullio, 2018). Na classificação do coeficiente de correlação, com base no valor da *cross-correlation*, utilizamos a proposta de Santos & Toledo Filho (2014), apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de correlação adaptado de Santos e Toledo Filho (2014).

cross-correlation (+ ou -)	Descrição
0,00	Nula
0,10-0,19	Muita fraca
0,20-0,39	Fraca
0,40-0,69	Moderada
0,70-0,89	Forte
0,90-1,00	Muito forte
1,00	Perfeita

Após a reclassificação das classes de cobertura do solo efetuamos uma análise descritiva (Figura 2E), gerando gráficos para cada estado e para o MATOPIBA. Posteriormente,

confeccionamos mapas com os planos remotos de informações e cobertura do solo para os anos de 2008 e 2018 (Figura 2F).

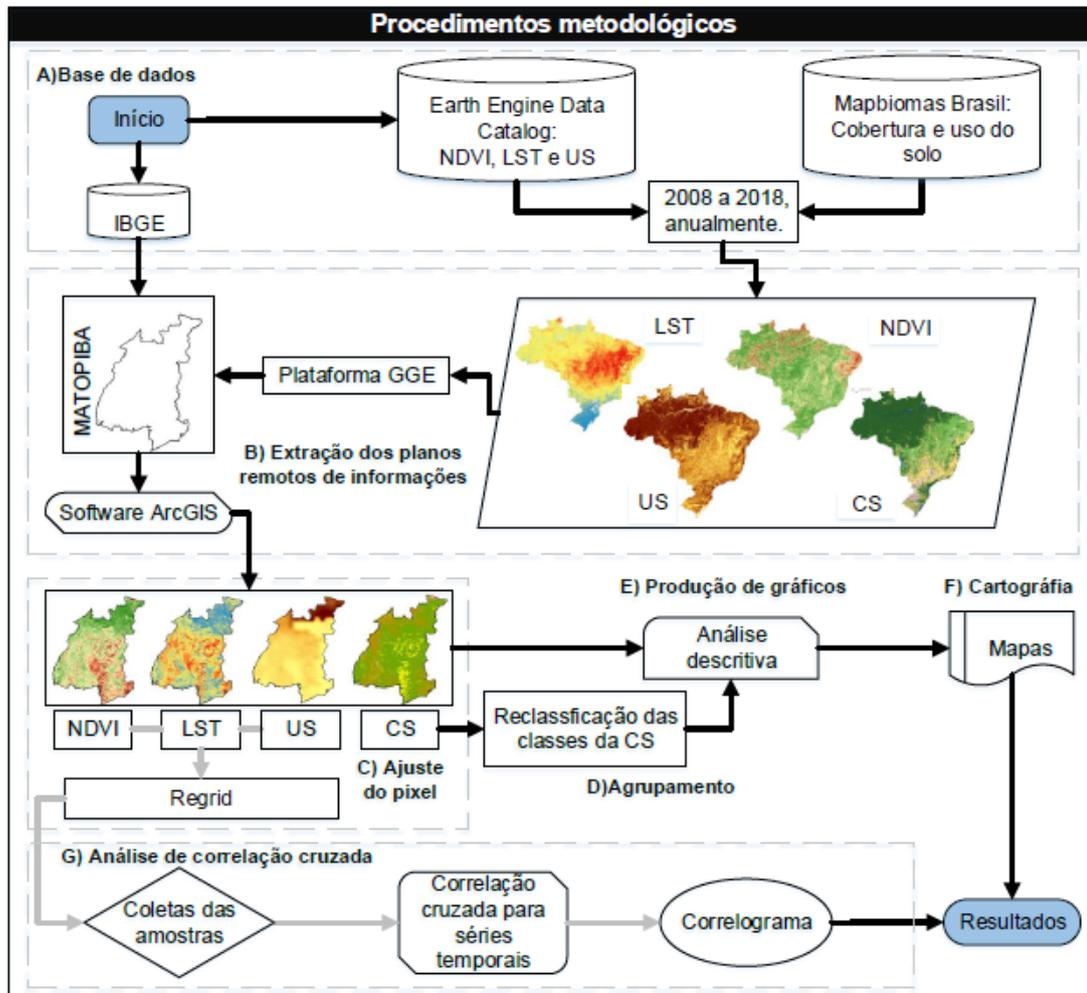


Figura 2. Fluxograma do método adotado neste estudo na fronteira agrícola MATOPIBA

3. RESULTADOS

As proporções das quatro classes de cobertura do solo mudaram entre 2008 e 2018. (Figuras 3 e 4). No período analisado, houve predominância da classe Floresta/Formação Natural Não Florestal em toda a extensão do MATOPIBA (Figura 3A à 3K). A classe Agricultura, em 2018, demonstrou crescimento espacial em relação ao ano de 2008 (Figura 3A e 3K), com considerável concentração nas mesorregiões do Extremo Oeste do estado da Bahia, Sudoeste do Piauí e no Sul do Maranhão. A classe Pastagem teve predominância espaço-temporal nas mesorregiões Ocidental do estado do Tocantins, na região do Vale do São-Franciscano na Bahia e no Oeste do Maranhão (Figura 3).

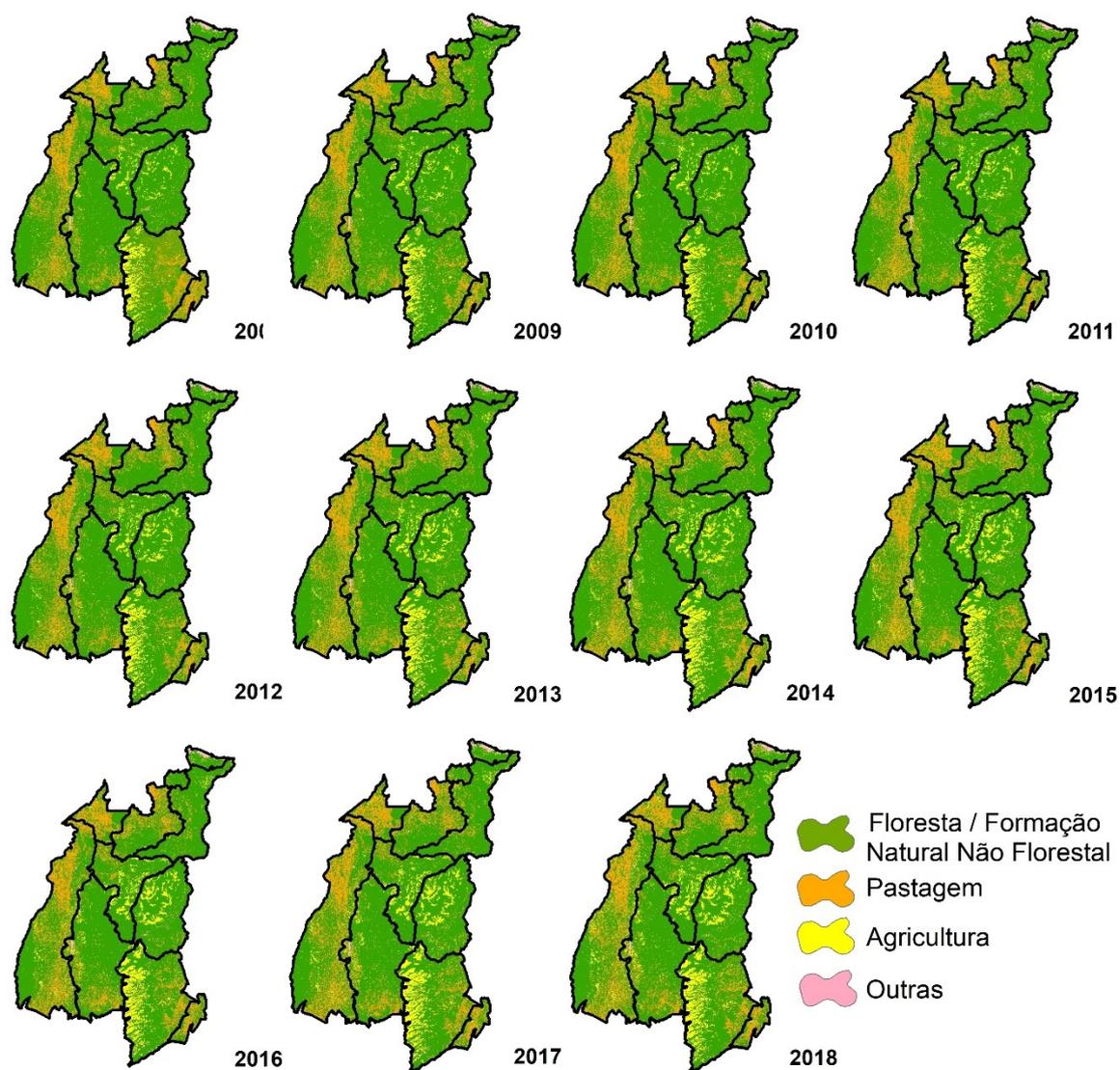


Figura 3. Mapas de cobertura e uso do solo da fronteira agrícola MATOPIBA no intervalo anual entre 2008 a 2018.

No período referente a 10 anos de avaliação, extensas áreas do domínio do Cerrado foram desmatadas em todos estados integrantes do MATOPIBA. Houve redução gradual da classe de Floresta/Formação Natural Não Florestal, com perda de aproximadamente 5,9% (775.358 ha) na Bahia, 7,6% (624.150 ha) no Piauí, 3,9% (1.075.424 ha) no Tocantins e, 5,1% (1.217.745 ha) no Maranhão. Na Figura 4 são apresentadas as áreas quantificadas em porcentagem, ao longo dos anos e por estado.

As classes Pastagem e Agricultura, com crescimento ao longo dos anos para todos os estados, apresentaram aumento até 2018, respectivamente, de 1,8% e 4,8% na Bahia; 0,5% e

7,2% no Piauí; 1,6% e 2,2% no Tocantins e, 3,4% e 1,8% no Maranhão (Figura 4). Entre os anos 2010 e 2011, a classe de Agricultura ultrapassou a Pastagem no estado da Bahia e, manteve-se crescente até o último ano de avaliação (Figura 4-A). No Piauí, o destaque vai para a classe de Agricultura, que apresentou crescimento de 7,2% ao longo dos anos (Figura 4-B). Os estados do Maranhão e Tocantins (Figura 4 C e D), apresentaram como classe predominante, depois da cobertura vegetal, o domínio de Pastagens, com porcentagens superiores as de Agricultura. As regiões que apresentaram maiores crescimentos de terras agrícolas, foram a Bahia e Piauí, com 4,8% e 7,2%, respectivamente, de crescimento ao longo dos anos avaliados (Figura 4).

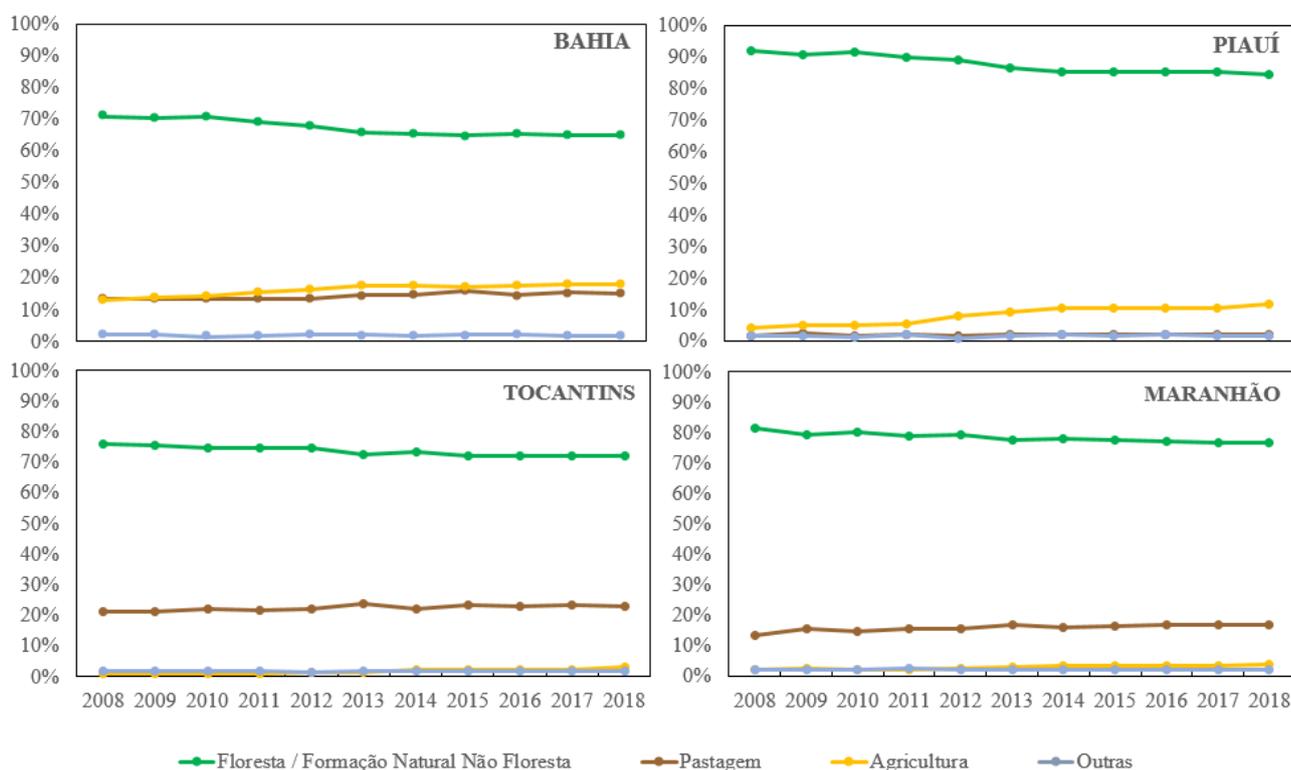


Figura 4. Quantificação em porcentagem das classes de cobertura e uso do solo para os estados da fronteira agrícola MATOPIBA, entre anos de 2008 a 2018.

No contexto do MATOPIBA, entre os anos de 2008 a 2018, verificamos um decréscimo das áreas de Cerrado em torno de 5,1% (~3.692.677 ha), a cobertura vegetal incluída na classe de Floresta/Formação Natural Não Florestal. Além disso, as classes de Pastagem e Agricultura apresentaram crescimento de 2,1% e 3,1%, representando áreas de 1.538.358 ha e 2.254.264 ha, respectivamente (Figura 5). De maneira geral, depois da cobertura de vegetação natural, as áreas de pastagens têm a maior representatividade na fronteira agrícola, apresentando em 2008

um território em uso de ~11.114.589 ha, para ~12.652.947 ha em 2018, um aumento de 2,1%, ou ~1.538.358 ha. E, na sequência, as zonas com atividades agrícolas, apresentando um aumento de 2.254.264 ha ao longo dos anos avaliados, nomeadamente, um aumento em área de 3,1%. Em 2008, a classe Agricultura apresentava ~2.939.061 ha e, em 2018 ~5.193.325 ha. Proporcionalmente, a agricultura no MATOPIBA apresentou maior taxa de expansão em áreas, demonstrando crescimento linear constante ao longo do tempo (Figura 5). As classes incluídas como Outras, mantiveram seus territórios a uma taxa pequena de alteração, apresentando variação de apenas 0,1%.

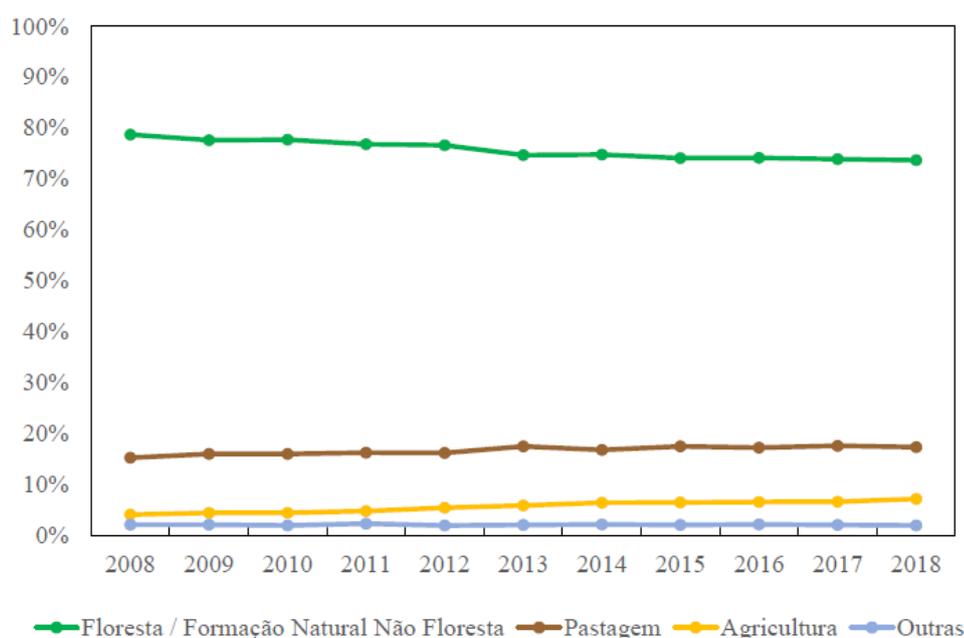


Figura 5. Variação temporal do percentual de cada classe de cobertura existente e uso do solo entre 2008 e 2018 para o MATOPIBA.

Considerando-se as variáveis ambientais e climáticas, o NDVI calculado para o MATOPIBA, apresentou como resposta uma vegetação densa ou vigorosa ao longo dos anos, com pouca variação, sendo o valor para vegetação de NDVI = 9152 para o ano 2008 e, NDVI = 9121 em 2018 (Figura 6 A-B). O NDVI sugere a presença de extensas áreas antropizadas, com baixa cobertura vegetal, com predominância nas mesorregiões do Oriental do Tocantins, Sudoeste Piauiense, Extremo Oeste Baiano e Vale São-Franciscano da Bahia (Figura 6 A-B).

Em 2008 e 2018, observamos alterações na amplitude das variáveis ambientais e climáticas (Figura 6), ressaltando o aumento do limite do inferior da LST (Figura 6-D), variando

de 10,5°C passou para 22,6°C. As maiores taxas LST são observadas para Sudoeste Piauiense, Ocidental do Tocantins, Extremo Oeste e Vale São-Franciscano da Bahia. (Figura 6 C-D). Já o mapa de US apresenta elevadas taxas concentradas nas extremidades norte das mesorregiões do Oeste, Leste, Centro e Norte Maranhense (Figura 6 E-F). Houve uma redução do limite inferior para 60mm (Figura 6-F), com variação de 177mm em 2008, para 60mm em 2018.

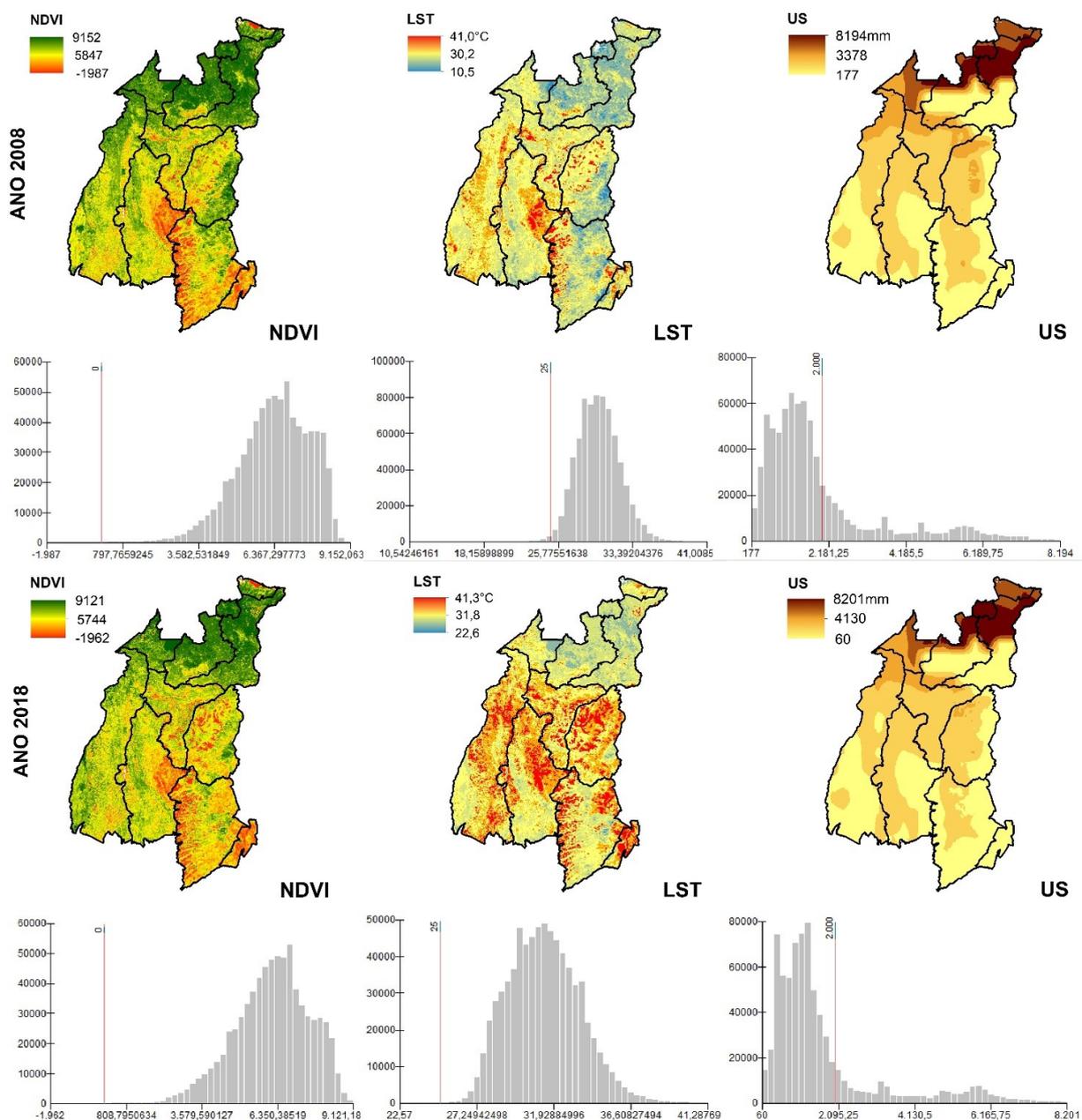


Figura 6. Mapas das variáveis ambientais e climáticas calculadas para a fronteira agrícola MATOPIBA, nos anos de 2008 e 2018. Os histogramas demonstram a frequência das variáveis, onde eixo y representa o número de pixel e o x simula o valor da variável.

Ao calcularmos as autocorrelações para os valores das variáveis no intervalo de tempo analisado, geramos um correlograma cruzado para as séries temporais anuais (2008 a 2018). Verificamos uma associação estatisticamente significativa ($p < 0.05$) entre os três pares de variáveis no tempo zero, comparando os pares do mesmo ano (Figura 7). Isso significa, que a alteração de uma variável afeta a outra, por exemplo, a redução NDVI proporciona o aumento da LST. Contudo, não observamos influência do tempo sobre as correlações, por não afetarem a variável resposta anos antes (-lag) e depois (lag) (Figura 7). Os pares ‘NDVI vs LST’, ‘LST vs US’ demonstraram correlação negativa, apresentando -0,71 e -0,78, que se enquadra na classe de correlação negativa de grau forte. No entanto, o par NDVI e US apresentou correlação positiva de 0.9, que se inclui na classe de correlação positiva de grau muito forte.

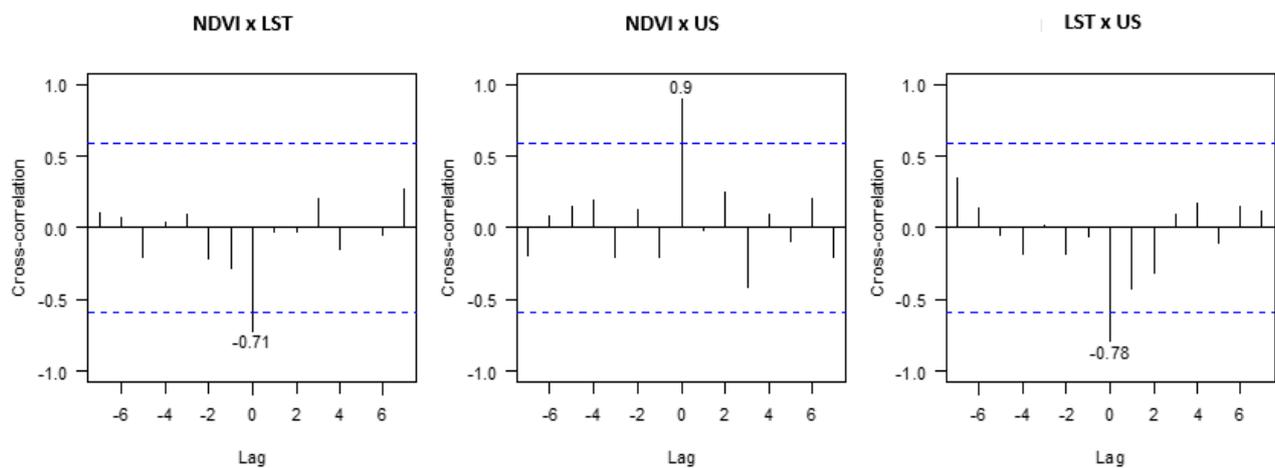


Figura 7. Correlograma para séries temporais (2008 - 2018) de NDVI, LST e US. *Lags* positivos (eixo x) indicam adiantamento da primeira série e negativos atraso da última série. As linhas tracejadas representam os limites do intervalo de 95% de confiança para a correlação.

4. DISCUSSÃO

Verificamos um decréscimo das áreas de Cerrado e as maiores taxas de crescimento de terras agrícolas ocorreram nos estados da Bahia e do Piauí na fronteira agrícola MATOPIBA. Em relação as variáveis ambientais e climáticas constatamos fortes correlações entre os pares. Entretanto, não teve influência do tempo.

A conversão da classe Floresta/Formação Natural Não Florestal em terras agrícolas e pastagens foi a mudança mais comum observada na área de estudo ao longo dos 10 anos de avaliação. A região do MATOPIBA é considerada a mais nova fronteira agrícola do Brasil. Entre 1990 e 2015, a produção de soja aumentou 4028% (Araújo et al. 2019). As concentrações das atividades agrícolas em municípios do Extremo Oeste Baiano, Sul do Maranhão e Sudoeste

do Piauí é explicada pelos primeiros investimentos na região no final do século passado (Garcia & Filho, 2018; Araújo et al., 2019). Portanto, a vegetação natural do MATOPIBA, nomeadamente o domínio Cerrado, foi intensamente explorada para os fins agropecuários.

O aumento da classe de Pastagem é demonstrado pelos números da atividade pecuária nos estados. O Maranhão e Tocantins contabilizaram 5.292.174 e 8.140.548 cabeças de gado em 2013, passando para 5.497.791 e 8.352.513 no de 2018, respectivamente. Já o Piauí e a Bahia somaram um total de 2.228.167 cabeças em 2018 (IBGE, 2020; Geo MATOPIBA, 2020). Observamos que as taxas de áreas com atividade pecuária, apresentaram concentração nos estados do Maranhão e Tocantins. Esse padrão está associado a dinâmica inicial de ocupação cuja a principal prática era o sistema pecuário extensivo, vigorando a criação extensiva em pastagens naturais (Buainain et al. 2017).

O aumento das áreas abertas para a agricultura também é demonstrado pelos números de produção agrícola. No estado da Bahia foram geradas 2.765.533 toneladas de soja e 1.493.295 toneladas milho em 2013, indo para 6.309.147 e 2.058.883 toneladas em 2018, respectivamente. Na mesma ordem de produção, o Maranhão (3.792.898 ton), Piauí (3.728.884 ton) e Tocantins (3.480.752 ton), somando soja e milho no ano de 2018. No período de 10 anos, o estado da Bahia teve destaque na expansão da agricultura no MATOPIBA (IBGE, 2020; Geo MATOPIBA, 2020).

O crescimento das classes Pastagem e Agricultura no MATOPIBA foi potencializado através de investimentos em infraestrutura e tecnologia, tanto do setor privado e do público. Podemos ressaltar, pesquisas da EMPRABA, armazéns de grãos e frigoríficos, obras da ferrovia Transnordestina e Figueirópolis, infraestrutura aeroportuária, integração da BR-135 e 242, portos de Juazeiro e Aratu na Bahia (Cruz et al. 2019; Buainain et al. 2017). Outro fator importante, é o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA criado 2015 (BRASIL, 2015) para promover políticas públicas direcionadas ao desenvolvimento econômico sustentável frente a agricultura e pecuária. Em 2016, o Governo Federal destinou ao plano agrícola pecuário 202 bilhões para financiamento (MAPA, 2016).

As diminuições do NDVI nas mesorregiões citadas estão relacionadas às mudanças na cobertura do solo no MATOPIBA, diretamente com a redução da classe de Floresta/ Formação Não Florestal, verificada no mapeamento do uso da terra. Esta relação visual ocorre por se tratar do período seco na região, facilitando a distinção da Floresta/ Formação Não Florestal. Contudo, o NDVI dos dados MODIS tem maior capacidade de discriminação nas classes de

cobertura do solo em comparação aos outros índices de vegetação (Ferreira et al. 2004; Hecka et al. 2019; Silva Junior et al. 2019).

O aumento da temperatura do solo pode acelerar a decomposição e a mineralização da matéria orgânica do solo que afeta a retenção de carbono no solo (Takoutsing et al. 2016). A matéria orgânica proporciona inúmeras vantagens físicas e químicas (Lal, 2015) no solo, influenciando a produção na agricultura e pecuária. Nesse sentido, a intensificação das práticas de manejo, como formação de palhadas e plantio direto (Ferreira et al. 2016; Telles et al. 2018), rotação de culturas (Bowles et al. 2020) e sistemas integrados (Costa et al. 2017) devem ser incentivadas em áreas de fronteiras agrícolas.

A umidade do solo é afetada, principalmente, pela precipitação, densidade da vegetação e evapotranspiração (Feng et al. 2017; Ye et al. 2019). Porém, com a ausência de cobertura do solo nas áreas produtivas, ocorre uma maior taxa de evaporação (Sahaar & Niemann et al. 2020), reduzindo o armazenamento hídrico no solo. Vale ressaltar que a combinação da variabilidade das chuvas (Adami et al. 2018; Zeri et al. 2018), alto potencial evaporativo (Silva Junior et al. 2019), mudanças na cobertura do solo, aumento da temperatura e baixa umidade do solo nessas regiões de fronteiras agrícolas no Cerrado, podem potencializar o índice de risco de seca (Branco et al. 2018; Bento et al. 2020; Hu et al. 2020).

No entanto, não houve influência do tempo nas correlações, ou seja, não encontrou o tempo que a redução do NDVI afeta a alteração das outras variáveis, provavelmente, por trabalharmos com intervalo anual. Talvez, por estações do ano, observar se o momento da resposta ou outro comportamento entre as relações das variáveis devido às mudanças na cobertura do solo (Chi et al. 2020).

A correlação negativa entre NDVI e LST, e LST e US, aponta que a redução do índice de vegetação favorece o aumento da temperatura do solo e, conseqüentemente, reduz a umidade do solo com ênfase nas zonas agrícolas e pecuárias. Já o NDVI alto propicia a proteção da umidade solo, tendo uma correlação positiva, destacando as áreas de vegetação densa. Constatamos uma forte relação e a resposta entre variáveis analisadas e ressaltamos que isso somado com as mudanças na paisagem sem planejamento podem intensificar a degradação ambiental na área de fronteira agrícola.

Entre anos de 2008 a 2018 podemos afirmar que houve impactos ambientais, redução da vegetação e alteração das variáveis ambientais e climáticas na região do MATOPIBA em função do desenvolvimento. No entanto, sabemos da importância econômica do agronegócio para Brasil, mas se a cada 10 anos perdemos 5% da vegetação do Cerrado, em 50 anos, isso

representa 25% (18.250 milhões de hectares). Diante desse cenário e pesando em buscar um equilíbrio entre a produção e a preservação/conservação do Cerrado para futuro, torna-se necessário a intensificação em pesquisas para otimizar uso do solo, produção em sistemas integrados, acompanhar a dinâmica da cobertura do solo anualmente, criação e manutenção de unidades de conservação.

5. CONCLUSÃO

A expansão da agropecuária na fronteira MATOPIBA está em pleno crescimento. O Cerrado foi substituído, principalmente, por pastos e agricultura, entre os anos de 2008 a 2018, liderado pelo Maranhão, Tocantins, Bahia e Piauí, respectivamente.

O estado do Bahia está liderando a produção agrícola, seguido pelo Piauí, tendo também as maiores taxas conversão do Cerrado. O Maranhão e o Tocantins têm as maiores áreas de pastagem, mas também estão expandindo suas áreas agrícolas.

Existe correlação entre as variáveis ambientais e climáticas analisadas na fronteira agrícola MATOPIBA, tendo um decréscimo na umidade do solo em função da redução do o índice de vegetação e a umidade do solo. Além disso, a redução do índice de vegetação propicia o aumento da temperatura do solo e conseqüentemente, reduz a umidade do solo.

6. REFERÊNCIAS

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate , a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958 – 2015. 1–12.
- Adami, M., Bernardes, S., Arai, E., Freitas, R. M., Shimabukuro, Y. E., Espírito-santo, F. D. B., Rudor, B. F. T., & Anderson, L. O. (2018). Seasonality of vegetation types of South America depicted by moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) time series. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 69(January), 148–163. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.02.010>.
- Aguilar-lome, J., Espinoza-villar, R., Espinoza, J., Rojas-acuña, J., Willems, B. L., & Leyva-molina, W. (2019). Elevation-dependent warming of land surface temperatures in the Andes assessed using MODIS LST time series (2000 – 2017). *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 77(April 2018), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.12.013>.
- Alvares, C. A., Stape, L. J., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. D. M., & Sparovek, G. (2014). Koppen ' s climate classification map for Brazil. 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Araújo, M. L. S. de, Sano, E. E., Bolfé, É. L., Santos, J. R. N., dos Santos, J. S., & Silva, F. B. (2019). Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, 80(September 2018), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040>.

- Bento, V. A., Gouveia, C. M., DaCamara, C. C., Libonati, R., & Trigo, I. F. (2020). The roles of NDVI and Land Surface Temperature when using the Vegetation Health Index over dry regions. *Global and Planetary Change*, 190(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103198>.
- Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E., & Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>.
- Bolfe, É. L., Victória, D. de C., Contini, E., Silva, G. B., Araujo, L. S., & Gomes, D. (2016). MATOPIBA em Crescimento Agrícola. *Revista de Política Agrícola*, 1(4), 38–62.
- Bolfe, Édson Luis, Campos, E. E., & Sano, S. K. (2020). Dinâmica agrícola no cerrado : análises e projeções. Embrapa, 2020. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1121716/1/LVDINAMICAAGRICO LACERRADO2020.pdf>.
- Bonanomi, J., Tortato, F. R., Gomes, R. de S. R., Penha, J. M., Bueno, A. S., & Peres, C. A. (2019). Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(1), 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.12.002>.
- Bowles, T. M.; Mooshammer, M.; Socolar, Y.; Schme, M. R.; Strock, J.; Grandy, A. S. (2020). Long-Term Evidence Shows that Crop-Rotation Diversification Increases Agricultural Resilience to Adverse Growing Conditions in North America. *One Earth* 2, 284–293 <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.007>.
- Borghi, E.; Bortolon, L.; Avanzi, J. C.; Bortolon, E. S. O.; Ummus, M. E.; Gontijo Neto, M. M.; Costa, R. V. Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do MATOPIBA. In: Karam, D.; Magalhães, P. C. (Ed.). *Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global*. Sete Lagoas: ABMS, 2014. cap. 25, p. 263-278.
- Branco, R. F. E., Santos, A. R. dos, Pezzopane, J. E. M., Santos, A. B., Alexandre, R. S., Bernardes, V. P., Silva, R. G. da, Souza, K. B. de, & Moura, M. M. (2019). Space-time analysis of vegetation trends and drought occurrence in domain area of tropical forest. *Journal of Environmental Management*, 246(April), 384–396. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.097>.
- BRASIL. Decreto no 8.447, de 6 de maio de 2015. Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu comitê gestor. **Diário Oficial**, Brasília, n. 85, p. 2 em 7 maio 2015. Seção 1. Disponível em: <<https://goo.gl/dw49K6>>. Acesso em Abril de 3 de 2018.
- Brogna, D., Dufrêne, M., Michez, A., Latli, A., Jacobs, S., Vincke, C., & Dendoncker, N. (2018). Forest cover correlates with good biological water quality. Insights from a regional study (Wallonia, Belgium). *Journal of Environmental Management*, 211, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.017>.
- Buainain, A. M., Garcia, J. R., & Filho, J. E. R. V. (2017). Dinâmica da economia e da agropecuária no MATOPIBA. https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29606

%3Atd-2283-dinamica-da-economia-e-da-agropecuaria-no-matopiba&catid=397%3A2017&directory=1&Itemid=1.

- Chi, Y., Sun, J., Sun, Y., Liu, S., & Fu, Z. (2020). Multi-temporal characterization of land surface temperature and its relationships with normalized difference vegetation index and soil moisture content in the Yellow River Delta, China. *Global Ecology and Conservation*, e01092. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01092>.
- Cho, A. M., & Ramoelo, A. (2019). Optimal dates for assessing long-term changes in tree-cover in the semi-arid biomes of South Africa using MODIS NDVI time series (2001 – 2018). *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 81(February), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.014>.
- Chu, H., Venevsky, S., Wu, C., & Wang, M. (2019). NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment*, 650, 2051–2062. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.115>.
- Cruz, L. N.; Herreros, M. M. A. G.; Vilarinho, C. C.; Demetrio Neto, E. N.; M, G. C. (2019). Socioeconomic development in the region of Matopiba, Brazil. *Braz. J. of Develop., Curitiba*, v. 5, n. 8, p. 12538-12556 aug. 2019 ISSN 2525-8761. <https://doi.10.34117/bjdv5n8-093>.
- Costa, M. P., Schoeneboom, J. C., Oliveira, S. A., Viñas, R. S., & Gerson, A. (2017). A socio-economic efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock- forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.063>.
- Didan, K. (2015). MOD13A2 ÍNDICE MODIS / Terra Vegetation 16 dias L3 Global 1km SIN Grid V006 [Conjunto de dados]. Processos Terrestres DAAC da NASA EOSDIS. Acesso em 2020-04-29 em <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006>.
- Dos Reis, L. C., Silva, C. M. S. e., Bezerra, B. G., Mutti, P. R., Spyrides, M. H. C., & da Silva, P. E. (2020). Analysis of Climate Extreme Indices in the MATOPIBA Region, Brazil. *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02474-4>.
- Dos Santos, D., & Toledo Filho, M. da R. (2014). Estudo sobre a influência de variáveis meteorológicas em internações hospitalares em maceió-al, durante o período 1998 a 2006. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(3), 457–467. <https://doi.org/10.1590/0102-778620110324>.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. MATOPIBA. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- EMBRAPA SOLOS - Sistema brasileiro de classificação de solos. 4ª edição, Embrapa-SPI, Rio de Janeiro, RJ, 2014. Ebook.
- ESRI, 2015. ArcGIS 10.5: GIS by ESRI. Esri.
- Fathizad, H., Tazeh, M., Kalantari, S., & Shojaei, S. (2017). The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 134, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.007>.

- Feng, X., Li, J., Cheng, W., Fu, B., Wang, Y., & Lü, Y. (2017). Evaluation of AMSR-E retrieval by detecting soil moisture decrease following massive dryland re-vegetation in the Loess Plateau, China. *Remote Sensing of Environment*, 196, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.012>.
- Fernandes, G. W., Coelho, M. S., Machado, R. B., Ferreira, M. E., Aguiar, L. M. de S., Dirzo, R., Scariot, A., & Lopes, C. R. (2016). Afforestation of savannas: an impending ecological disaster. *Natureza e Conservacao*, 14(2), 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.08.002>.
- Ferreira, A. D. O., Amado, T., Rice, C. W., Diaz, D. A. R., Keller, C., & Inagaki, T. M. (2016). Can no-till grain production restore soil organic carbon to levels natural grass in a subtropical Oxisol? “Agriculture, Ecosystems and Environment,” 229, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.016>.
- Ferreira, L. G., Yoshioka, H., Huete, A., & Sano, E. E. (2004). Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. *Journal of Arid Environments*, 56, 425–447. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00068-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00068-5).
- Garcia, J. R., & Filho, J. E. R. V. (2018). O papel da dimensão ambiental na ocupação do MATOPIBA. *Franco-Brasileira de Geografia*, 35, 1–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.4000/confins.13045>.
- GeoWeb MATOPIBA. Painéis numéricos, gráficos e cartográficos interativos de dados espaciais do MATOPIBA sobre produção agropecuária, crédito rural, empregos formais e tecnologias da Embrapa dos anos de 2013 e 2018. <https://www.embrapa.br/geomatopiba/sistemas>. Acesso em 04/02/2020.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Heck, E., de Beurs, K. M., Owsley, B. C., & Henebry, G. M. (2019). Evaluation of the MODIS collections 5 and 6 for change analysis of vegetation and land surface temperature dynamics in North and South America. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 156(January), 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.011>.
- Hu, T., Renzullo, L. J., Dijk, A. I. J. M. Van, He, J., Tian, S., Xu, Z., Zhou, J., Liu, T., & Liu, Q. (2020). Monitoring agricultural drought in Australia using MTSAT-2 land surface temperature retrievals. *Remote Sensing of Environment*, 236(August 2019), 111419. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111419>.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. 83, 195–213.
- Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (IBGE). 2004. Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2018.

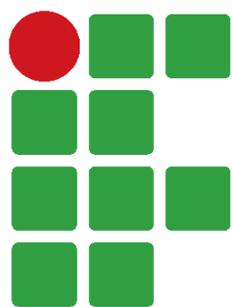
- safras agrícolas no ano 2013 e 2018. Levantamento Sistemático Produção Agrícola 2013 e 2018. <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em 04/02/2020.
- Islam, M., Deb, G. P., & Rahman, M. (2017). Forest fragmentation reduced carbon storage in a moist tropical forest in Bangladesh: Implications for policy development. *Land Use Policy*, 65, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.025>.
- Jamei, Y., Rajagopalan, P., & Sun, Q. C. (2019). Time-series dataset on land surface temperature, vegetation, built up areas and other climatic factors in top 20 global cities (2000–2018). *Data in Brief*, 23, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103803>.
- Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Guo, H., & Ndayisaba, F. (2017). Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia. *Science of the Total Environment*, 599–600, 967–980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.012>.
- Kastens, J. H., Brown, J. C., Coutinho, A. C., Bishop, C. R., & Esquerdo, J. C. D. M. (2017). Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. *PLoS ONE*, 12(4), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176168>.
- Klink, C. A., & Machado, R. B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *MEGADIVERSIDADE*, 1, 148–155. https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Texto_Adicional_ConservacaoID-xNOKMLsupY.pdf.
- Klink, C. A., & Moreira, A. G. (2002). 5. Past and Current Human Occupation, and Land Use. *The Cerrados of Brazil*, 69–88. <https://doi.org/10.7312/oliv12042-006>.
- Kobayashi, T., & Sota, T. (2019). Contrasting effects of habitat discontinuity on three closely related fungivorous beetle species with diverging host-use patterns and dispersal ability. *Ecology and Evolution*, 9(5), 2475–2486. <https://doi.org/10.1002/ece3.4862>.
- Lal, R. (2015). Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 329–339. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.6.329>.
- Lam, N. S. N., Cheng, W., Zou, L., & Cai, H. (2018). Effects of landscape fragmentation on land loss. *Remote Sensing of Environment*, 209(December 2017), 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.034>.
- Lapola, D. M., Martinelli, L. A., Peres, C. A., Ometto, J. P. H. B., Ferreira, M. E., Nobre, C. A., Aguiar, A. P. D., Bustamante, M. M. C., Cardoso, M. F., Costa, M. H., Joly, C. A., Leite, C. C., Moutinho, P., & Sampaio, G. (2014). Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature Publishing Group*, 4(1), 27–35. <https://doi.org/10.1038/nclimate2056>.
- Latrubesse, E. M., Arima, E., Ferreira, M. E., Nogueira, S. H., Wittmann, F., Dias, M. S., Dagosta, F. C. P., & Bayer, M. (2019). Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. *Conservation Science and Practice*, 1(9), 1–8. <https://doi.org/10.1111/csp2.77>.
- speMapBiomass, 2020. Collection 4.1 of annual series of land cover and land use in Brazil, 1985–2018. <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: 20 de setembro de 2018.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2011. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: acordo de cooperação técnica MMA/Ibama: monitoramento do

- Bioma Cerrado 2009-2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatoriofinal_cerrado_2010_final_72_1.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.
- Ministério Do Meio Ambiente (MMA). Agenda 21 Brasileira - Agricultura Sustentável – Produto 3 / Versão final, 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado/fauna-e-flora>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2018.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2015. Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado/projetoterraclass.html#:~:text=O%20mapeamento%2C%20a%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20e,um%20territ%C3%B3rio%20de%20mais%20de>. Acessado em 11 de maio de 2019.
- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2019. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29, Projeções de Longo Prazo. Brasília: MAPA/ACE, 2019. 126 p. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/view>>. Acesso em: 10 maio 2020.
- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA 2016. Plano agrícola e pecuário, 2016/2017. Brasília, DF:. Disponível em: <http://antigo.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/plano-agricola-e-pecuario/plano-agricola-e-pecuario-antigo> . Acesso em: 10 mai. 2020.
- Mao, K. B., Ma, Y., Tan, X. L., Shen, X. Y., Liu, G., Li, Z. L., Chen, J. M., & Xia, L. (2017). Global surface temperature change analysis based on MODIS data in recent twelve years. *Advances in Space Research*, 59(2), 503–512. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.11.007>.
- Matricardi, E. A. T., Mendes, T. J., Pereira, E. M., Vasconcelos, P. G. D. A., Ângelo, H., & Costa, O. B. da. (2019). Dinâmica no uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA entre 2000 e 2016. *Nativa*, v.7, n.5, 547–555. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7391>.
- Mello, K. de, Valente, R. A., Randhir, T. O., & Vettorazzi, C. A. (2018). Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil. *Ecological Indicators*, 93(December 2017), 1293–1301. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.030>.
- Militino, A. F., Ugarte, M. D., & Pérez-goya, U. (2017). Stochastic Spatio-Temporal Models for Analysing NDVI Distribution of GIMMS NDVI3g Images. *Remote Sensing*, 9, 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs9010076>.
- Miranda, E. E. de;, Magalhães, L. A. e, & Carvalho, C. A. (2014). Um Sistema de Inteligência Territorial Estratégica Para o MATOPIBA. *EMPRABA*, 1–26. https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT2_SITEMat%0Aopiba.pdf.
- Mondal, P., McDermid, S. S., & Qadir, A. (2020). A reporting framework for Sustainable Development Goal 15 : Multi-scale monitoring of forest degradation using MODIS , Landsat and Sentinel data. *Remote Sensing of Environment*, 237(November 2019), 111592. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111592>.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., & da Fonseca, G. A. B. Kent, J. (2000).

- Conservation: Biodiversity as a bonus prize. *Nature*, 468(7326), 895. <https://doi.org/10.1038/468895a>.
- Nega, W., Hailu, B. T., & Fetene, A. (2019). An assessment of the vegetation cover change impact on rainfall and land surface temperature using remote sensing in a subtropical climate, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16(August), 100266. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100266>.
- Oliveira Fiorini, A. C., Mullally, C., Swisher, M., & Putz, F. E. (2020). Forest cover effects of payments for ecosystem services: Evidence from an impact evaluation in Brazil. *Ecological Economics*, 169(April 2019), 106522. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106522>.
- Pereira, L. I., & Pauli, L. (2019). MATOPIBA : controle do território e expansão da fronteira da estrangeirização da terra. *Revista Nera (Unesp)*, 22, 148–172.
- R Development Core Team. 2020: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, <https://www.rproject.org/>.
- Rolo, V., Olivier, P. I., Pfeifer, M., & van Aarde, R. J. (2018). Functional diversity mediates contrasting direct and indirect effects of fragmentation on below- and above-ground carbon stocks of coastal dune forests. *Forest Ecology and Management*, 407(October 2017), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.059>.
- Rouse, W. J., Haas, H. R., Schell, J. A., & Deering, W. D. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with erts . NASA.
- Saeki, I., Hirao, A. S., Kenta, T., Nagamitsu, T., & Hiura, T. (2018). Landscape genetics of a threatened maple, *Acer miyabei*: Implications for restoring riparian forest connectivity. *Biological Conservation*, 220(July 2017), 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.018>.
- Salvador, M. A., & de Brito, J. I. B. (2017). Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(1–2), 253–261. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2179-5>.
- Sannigrahi, S., Zhang, Q., Joshi, P. K., Sutton, P. C., Keesstra, S., Roy, P. S., Pilla, F., Basu, B., Wang, Y., Jha, S., Paul, S. K., & Sen, S. (2020). Examining effects of climate change and land use dynamic on biophysical and economic values of ecosystem services of a natural reserve region. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120424. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120424>.
- Sano, E. E., Rodrigues, A. A., Martins, E. S., Bettiol, G. M., Bustamante, M. M. C., Bezerra, A. S., Couto, A. F., Vasconcelos, V., Schüller, J., & Bolfe, E. L. (2019). Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, 232(July 2018), 818–828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>.
- Santos, H. G. dos; Carvalho Jr., W. de; Dart, R. de O.; Áglio, M. L. D.; Sousa, J. S. de; Pares, J. G.; Fontana, A.; Martins, A. L. da S.; Oliveira, A. P. de. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Documentos 130, Embrapa Solos, 2011.

- Sahaar, S. A.; Niemann, J. D. (2020). Impact of regional characteristics on the estimation of root-zone soil moisture from the evaporative index or evaporative fraction. *Agricultural Water Management* 238 (2020) 106225. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106225>.
- Sahaar, S. A.; Niemann, J. D. (2020). Impact of regional characteristics on the estimation of root-zone soil moisture from the evaporative index or evaporative fraction. *Agricultural Water Management* 238 (2020) 106225. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106225>.
- Silva Junior, C. A. da, Costa, G. de M., Rossi, F. S., Vale, J. C. E. do, Lima, R. B. de, Lima, M., Oliveira-Junior, J. F. de, Teodoro, P. E., & Santos, R. C. (2019). Remote sensing for updating the boundaries between the brazilian Cerrado-Amazonia biomes. *Environmental Science and Policy*, 101(April), 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.006>.
- Spera, S. A., Galford, G. L., Coe, M. T., Macedo, M. N., & Mustard, J. F. (2016). Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Global Change Biology*, 22(10), 3405–3413. <https://doi.org/10.1111/gcb.13298>.
- Sruthi, S., & Aslam, M. A. M. (2015). Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 1258–1264. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.164>.
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A. E., Oliveira Filho, F. J. B., De Scaramuzza, C. A. M., Scarano, F. R., Soares-Filho, B., & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology and Evolution*, 1(4), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>.
- Sun, W., Song, X., Mu, X., Gao, P., Wang, F., & Zhao, G. (2015). Spatiotemporal vegetation cover variations associated with climate change and ecological restoration in the Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.05.002>.
- Takoutsing, B., Weber, J., Aynekulu, E., Antonio, J., Martín, R., Shepherd, K., Sila, A., Tchoundjeu, Z., & Diby, L. (2016). Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. *Geoderma*, 276, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.027>.
- Telles, T. S., Reydon, B. P., & Maia, A. G. (2018). Land Use Policy Effects of no-tillage on agricultural land values in Brazil. *Land Use Policy*, 76(April), 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.053>.
- Tullio, L. Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2. Cap. 9, p. 105-116. DOI 10.22533/at.ed.482180110.
- Wan, Z., Zhang, Y., & Zhang, Q. (2010). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 1161. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>.
- Wang, Yongfang, Liu, G., & Guo, E. (2019). Spatial distribution and temporal variation of drought in Inner Mongolia during 1901–2014 using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Science of the Total Environment*, 654, 850–862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.425>.
- Wang, Yunxia, Ziv, G., Adami, M., Mitchard, E., Batterman, S. A., Buermann, W., Schwantes, B., Hur, B., Junior, M., Matias, S., Rodrigues, D., & Galbraith, D. (2019). Mapping

- tropical disturbed forests using multi-decadal 30 m optical satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 221(October 2018), 474–488. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.028>
- Ye, L., Fang, L., Shi, Z., Deng, L., & Tan, W. (2019). Spatio-temporal dynamics of soil moisture driven by ‘ Grain for Green ’ program on the Loess Plateau , China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 269(August 2018), 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.006>.
- Zalles, V., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Stehman, S. V., Tyukavina, A., Pickens, A., Song, X. P., Adusei, B., Okpa, C., Aguilar, R., John, N., & Chavez, S. (2019). Near doubling of Brazil’s intensive row crop area since 2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(2), 428–435. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810301115>.
- Zeri, M., Cunha-Zeri, G., Gois, G., Lyra, G. B., & Oliveira-Júnior, J. F. (2018). Exposure assessment of rainfall to interannual variability using the wavelet transform. *International Journal of Climatology*, 39(1), 568–578. <https://doi.org/10.1002/joc.5812>.
- Zhou, X., & Wang, Y. C. (2011). Dynamics of Land Surface Temperature in Response to Land-Use/Cover Change. *Geographical Research*, 49(1), 23–36. <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2010.00686.x>.



**INSTITUTO
FEDERAL**

Goiano

Campus
Urutaí