

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CAMPUS DE JABOTICABAL

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO CO₂ ATMOSFÉRICO E DA
FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA INDUZIDA PELO SOL PARA O
ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL**

Gabriel Bonetti Scarabel

Jaboticabal-SP

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE CIENCIAS AGRÁRIAS E VETERINARIAS

CAMPUS DE JABOTICABAL

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO CO₂ ATMOSFERICO E DA
FLUORESCENCIA DA CLOROFILA INDUZIDA PELO SOL PARA O
ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL**

Gabriel Bonetti Scarabel

Orientador: Prof Dr. Newton La Scala Júnior

Coorientador: Dr. Gustavo André De Araújo Santos

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias UNESP, Câmpus de
Jaboticabal como parte das exigências para
graduação em Engenharia Agrônômica.

Jaboticabal-SP

2021

Dedico

Aos meus pais Alciro e
Terezinha que sempre
me apoiaram em todos
momentos, e em
especial a minha avó
Angelina Chiasutto
Bonetti (*In memoriam*).

FICHA CATALOGRÁFICA

S285v	Scarabel, Gabriel Bonetti Variação espaço-temporal de CO₂ atmosférico e da Fluorescência da Clorofila Induzida pelo Sol para o Estado do Mato Grosso do Sul / Gabriel Bonetti Scarabel. -- Jaboticabal, 2021 42 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Newton La Scala Júnior Coorientador: Gustavo André de Araújo Santos 1. Dióxido de carbono atmosférico. 2. Ecossistemas. 3. Sensoriamento remoto. 4. Mudanças climáticas. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: **ENGENHARIA E CIÊNCIAS EXATAS**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO : **Variação espaço-temporal do CO₂ atmosférico e da fluorescência da Clorofila Induzida pelo Sol para o Estado do Mato Grosso do Sul.**

ACADÊMICO: **GABRIEL BONETTI SCARABEL**

CURSO: **Engenharia Agrônoma**

ORIENTADOR (ES): **Prof. Dr. Newton La Scala Júnior
Dr. Gustavo André de Araújo Santos**

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)
Presidente	Prof. Dr. Newton La Scala Júnior
Membro	Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso
Membro	MSc. Fernando Saragosa Rossi

(Assinaturas)





Jaboticabal 29 / 7 / 2021.

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 17 / 08 / 2021



Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível, pelas oportunidades cedidas como estudar nesta instituição e agora com a luta de vencer mais uma etapa, a graduação.

Gostaria de agradecer também meus pais Alciro e Terezinha, que não mediram esforços para que minha educação fosse garantida. Auxiliaram em todo meu período mais difícil da vida permitindo que pudesse amadurecer mais cedo.

Agradecer também a Escola SESI – 255 Santa Rita do Passa Quatro – SP, pelo acolhimento nos anos de Ensino Médio, fundamentais e imprescindíveis para mim.

Agradecer também a toda equipe do Centrinho de Bauru (USP) pela assistência, pelo tratamento que recebi, pois graças a esse tratamento pude ouvir pela primeira vez em setembro de 2002.

Agradecer aos meus avós Antônio Bonetti e Angelina Chiasutto Bonetti (*In memorian*), por sempre me auxiliarem em tudo na minha vida e também aos avós Antônio Scarabel Netto e Zélia Ferracini Scarabel deixo meus agradecimentos.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), por me proporcionar o aprendizado e me permitir conhecer mais sobre a profissão que futuramente irei exercer.

A todos funcionários da Instituição por manter a unidade em funcionamento.

Ao Departamento de Engenharia e Ciências Exatas pelo suporte e que pude desenvolver meu trabalho de iniciação científica e monitoria, colegas de

departamento também foram de imprescindível ajuda dentre eles destaco o Luís Miguel da Costa e ao Dr. Tiago De Andrade Águas pelo auxílio com mapas e software ArcGIS.

Ao meu professor orientador Dr. Newton La Scala Júnior por me proporcionar muitos conhecimentos e ter me apresentado durante a monitoria sobre sua área de trabalho com dados atmosféricos e fotossíntese.

Ao meu coorientador Dr. Gustavo André de Araújo Santos pela transmissão de conhecimentos em softwares, processamento de dados, como trabalhar com Big Data, pela paciência e atenção, com ótimo tutoramento para meu projeto.

Aos meus colegas e amigos de turma (Tales, Beatriz e Stefania) que foram essenciais nos momentos difíceis e que sem o apoio deles minha estadia na faculdade seria mais difícil, desejo levar estas amizades para a vida toda.

A FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo fomento a pesquisa, pelo código 2019/11319-4.

A todos que de forma direta ou indiretamente me auxiliaram no decorrer do projeto e durante minha estadia na universidade pública.

Sumário

1. RESUMO	VI
2. ABSTRACT	VII
3. INTRODUÇÃO	1
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
4.1 Ciclo do carbono	3
4.2 Eucalipto	5
4.3 Coluna média de CO ₂ (X _{CO2}) e Fluorescência Induzida pelo Sol (SIF)	5
4.3 Biomas do Estado do Mato Grosso do Sul	6
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
5.1 Local de estudo	7
5.2 Plataformas para extração de dados	8
5.3 Extração de dados na plataforma Appeears	9
5.4 Obtenção de dados pela plataforma NASA Power	11
5.5 Estatística descritiva e análise de relação de dependência	12
5.6 Distribuição espacial.....	12
5.7 Anomalias de XCO2	13
6. RESULTADOS	14
6.1.1 Variação Temporal	14
6.1.2 Variação Espacial	20
6.2 Discussão	27
6.2.1 Variabilidade temporal para XCO2	27
6.2.2 Variabilidade temporal da SIF.....	30
6.2.3 Variabilidade espacial	32
7. CONCLUSÃO	34
8. REFERÊNCIAS	36

1. RESUMO

O entendimento da dinâmica do carbono para detecção de fontes e sumidouros em grandes áreas, sobretudo em áreas agrícolas ou florestais, é um desafio a ser superado. Nos últimos anos, técnicas de sensoriamento remoto são usadas para carbono atmosférico. O trabalho consistiu em caracterizar variabilidade temporal da X_{CO_2} e da SIF e os seus principais fatores de controle no Estado do Mato Grosso do Sul, foi conduzida uma análise com auxílio de satélite nas regiões de diferentes biomas e produtoras de eucalipto, com uma série temporal de janeiro de 2015 a dezembro de 2018 para os dados de X_{CO_2} e Fluorescência Induzida pelo Sol (SIF) do Observatório do Carbono em Órbita-2 (OCO-2). Quanto a variabilidade temporal, é apresentada de uma correlação negativa e significativa entre X_{CO_2} e SIF ($P < 0,05$) seja para o estado todo ou regiões, ao longo dos 4 anos de estudos. Na variabilidade espacial foi usado o método do IDW (Inverso da Distância Ponderada). De modo geral, o bioma Cerrado apresenta o período de alta da X_{CO_2} entre os meses de maio a outubro (período seco), comportamento semelhante foi observado para o Pantanal. Para a Mata Atlântica esse período estendeu-se de abril a outubro, enquanto para macrorregião de eucalipto foi onde se observou menor período em relação aos biomas tendo assim uma menor concentração de carbono atmosférico em um período reduzido, de junho a outubro. Observado as áreas de estudo, o bioma Pantanal apresentou as menores médias tanto para SIF757 ($0,94 \pm 0,021 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$) quanto para SIF771 ($0,567 \pm 0,013 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$) com relação as demais áreas. A Mata Atlântica e a Macrorregião de Eucalipto apresentaram as médias mais altas de SIF, sendo, $1,07 \pm 0,030 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF757) e $0,639 \pm 0,019 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF771) para Mata Atlântica e $1,03 \pm 0,038 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF757) e $0,616 \pm 0,025 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF771) para Macrorregião de Eucalipto. No Cerrado as médias foram $1,01 \pm 0,06 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e $0,583 \pm 0,001 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para SIF757 e SIF771, respectivamente.

Palavras-chave: OCO-2, Ciclo do carbono, Gases do efeito estufa, Mudanças climáticas, Biomas

2. ABSTRACT

The understanding the carbon dynamics for detecting sources and sinks in large areas, especially in agricultural or forestry areas, is a challenge to be overcome. In recent years remote sensing techniques are used for atmospheric carbon. The work consisted characterizing the temporal variability of X_{CO_2} and SIF and their main control factors in the State of Mato Grosso do Sul, a satellite-assisted analysis was conducted in the regions of different biomes and eucalyptus areas, with a time series of January 2015 to December 2018 for X_{CO_2} and Sun Induced Fluorescence (SIF) data from Orbit Carbon Observatory 2 (OCO2). As for temporal variability, there is a negative significance correlation between X_{CO_2} and SIF ($P < 0.05$) for the entire state or regions, over the 4 years of studies.. For the spatial distribution, the IDW method (Inverse Distance Weighting) was used. In general, the Cerrado biome presents the period of high X_{CO_2} between the months of May and October (Dry period), a similar behavior was observed for the Pantanal. For the Atlantic Forest this period extended from April to October, while for the eucalyptus macroregion it was shorter period observed in relation to the biomes, this having a lower concentration of atmospheric carbon in a reduced period, from June to October. Observing the study areas, the Pantanal biome presented lowest means for both SIF757 ($0.94 \pm 0.021 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$) and SIF771 ($0.567 \pm 0.013 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$) in relation to the other areas. The Atlantic Forest and Eucalyptus Macroregion had highest SIF averages being $1.07 \pm 0.030 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF757) and $0.639 \pm 0.019 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF771) for the Atlantic Forest and $1.03 \pm 0.038 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF757) and $0.616 \pm 0.025 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF771) for Eucalyptus macroregion. In the Cerrado, the means were $1.01 \pm 0.06 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ and $0.583 \pm 0.001 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ for SIF757 e SIF771, respectively.

Keywords: OCO-2, Carbon Cycle, Greenhouse gases, Climate changes, Biome

3. INTRODUÇÃO

No início da década de 60 os pesquisadores se questionaram do porque as mudanças climáticas estavam ocorrendo, visto que, o planeta estava aquecendo, dando espaço para debates sobre mudanças climáticas. Sendo assim foi criado o Painel Internacional de Mudanças Climáticas-IPCC, que emite relatórios do clima para todos compreenderem as mudanças. Por meio de pesquisas sobre os gases efeito estufa, permitiu entender que o carbono atmosférico poderia ser o principal responsável pelo aumento da temperatura do planeta, devido a relação com o crescimento na queima de combustíveis fósseis, desmatamento de florestas e pela mudança e uso da terra (SCHNEIDER et al., 2001).

Com as emissões de carbono atmosférico sempre crescentes, o observatório Mauna Loa, do Havaí informaram que a concentração de CO₂ se encontrou no patamar de 415,26 ppm, nunca antes atingida nos últimos 800mil anos, antes havia picos e baixas que variava desde 170ppm até 300ppm. Com as ações antrópicas nos últimos anos as concentrações rompem recordes (SCRIPPS, 2019).

Tratando-se do ciclo do carbono, a agricultura tem sua parcela de contribuição no CO₂ para a atmosfera, porém se for bem manejada pode-se sequestrar carbono da atmosfera e estocar nas partes vegetativas das plantas e no solo (CERRI et al., 2007).

A agricultura ou florestas nativas ou plantadas possuem grande capacidade de imobilização de carbono e a variação da taxa de imobilização que vai variar de acordo com crescimento e a idade das plantas (CIESLA et al, 1995). Por

meio da fotossíntese, as plantas capturam carbono na forma de CO₂, sendo a fase de crescimento a que possui maior demanda de carbono, segundo Watzlawick e colaboradores (2009). Neste sentido o eucalipto vem sendo amplamente utilizado no reflorestamento de áreas degradadas, provendo uma madeira de alta qualidade e consequentemente sequestro de CO₂ (VARMOLA; CARLE, 2002).

As árvores do gênero *Eucalyptus* são as mais plantadas no mundo, isso devido a sua extraordinária diversidade, adaptabilidade e crescimento, que tornou essa espécie um recurso global renovável de fibra e energia (MYBURG, 2014). No Brasil temos cerca de 7 milhões de hectares de Eucalipto plantados, dos quais 1,91 milhões são cultivados no estado de Minas Gerais (maior produtor no país) e 1,117 milhões são do estado de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2019). Foram contatados a quantidade de sequestro de carbono nas culturas de Seringueira (para borracha), Eucalipto e Pinus, acumulando respectivamente 3,09; 12,38 e 4,08 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (JACOVINE et al, 2006).

De acordo com Ghannoum et al (2010) o Eucalipto quando submetido a uma concentração de carbono atmosférico maior, ele responde com aumento de biomassa e ganho de altura de forma mais rápida em relação ao que está sob condições normais. Portanto, estudar este fenômeno nos auxiliará a entender melhor o comportamento da molécula em função da cultura.

Para uma melhor compreensão do ciclo do carbono, técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas para mapear fluxos e concentrações atmosféricas de CO₂ (X_{CO2}) (SCHWANDNER et al., 2017, FALAHATKAR et al., 2017). Além disso, diversas variáveis como índices de

vegetação (NDVI e EVI) e a fluorescência da clorofila induzida pelo sol – SIF são utilizadas para compreender o ciclo do carbono em aspectos diversos. (KÖHLER et al., 2018). Diante do surgimento desses índices e de inovações tecnológicas voltadas para o sensoriamento remoto, pesquisadores têm somado esforços nas buscas de resultados para compreender a variação da SIF e do X_{CO_2} de forma global e regional (FRANKENBERG et al., 2011; SCHWANDNER et al., 2017)

Apesar dos avanços observados dentro desta linha, que consiste em estimar a concentração atmosférica de CO_2 com uso de técnica de sensoriamento remoto, quase nenhum estudo (MERRICK et al., 2019) vem sendo realizado a fim de compreender a dinâmica do CO_2 atmosférico e da fluorescência da clorofila induzida pelo sol por meio de sensoriamento remoto em áreas brasileiras, sobretudo em áreas agrícolas. Desse modo, é importante salientar que estudos usando esse tipo de tecnologia no Brasil é extremamente importante.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho consistiu-se em caracterizar a variabilidade temporal da X_{CO_2} e da SIF e os seus principais fatores de controle nos biomas e na macrorregião de eucalipto no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil com uso de dados de sensoriamento remoto, e por fim a variabilidade espacial.

4. REVISAO BIBLIOGRAFICA

4.1 Ciclo do carbono

O carbono possui um papel fundamental para a vida no planeta Terra, pois é ele quem nos auxilia na regulação da temperatura da atmosfera sendo

chamado de gases de efeito de estufa (GEE), levando em consideração a emissão global de CO₂ de 8 bilhões de toneladas dos quais 3,2 bilhões permanecem na atmosfera favorecendo um aumento das temperaturas da superfície da Terra em função da sua capacidade de absorver radiação infravermelha (NOBRE; NOBRE, 2002). Desde sua formação da Terra o carbono sendo o quarto elemento mais abundante do universo teve uma boa fatia na participação de formação do nosso planeta, com isto temos as moléculas orgânicas baseadas em Carbono que nos permitiu a existência da vida.

O gás carbônico estando na atmosfera juntamente com a presença de seres autotróficos por meio da fotossíntese consegue sequestrar o carbono atmosférico e converter em estruturas orgânicas, principalmente Glicose e Frutose (LEHNINGER, 2014). Deste modo este carbono está preso nas estruturas das plantas fazendo com que ocorra uma temporária diminuição na atmosfera e então as plantas de um modo geral sofrem perdas de folhas, galhos, ou até mesmo a morte do indivíduo como um todo, nesse momento entra em jogo os organismos decompositores que quebram estruturas como a lignina (que confere robustez às células) e liberam para a atmosfera vários gases e o CO₂ junto como produto da decomposição fechando dessa forma o ciclo do carbono no nosso planeta.(MALHI et al., 2008; TOLEDO, 2009).

Não podemos esquecer a principal fonte de emissão que é de ação antrópica por meio da queima de combustíveis fósseis lançando muitas toneladas de carbono para a atmosfera, tem também o impacto na mudança da utilização da terra, pois o solo é o maior reservatório de carbono, e a mudança pode tanto favorecer quanto prejudicar as emissões (TOLEDO, J.J, 2009).

Com a queima dos combustíveis fósseis (ação antrópica) todo o carbono presente na estrutura química sofre uma reação de oxidação e libera gás carbônico (CO_2) para a atmosfera, com isto o combustível fóssil ainda é fonte primária mundial correspondendo a 75% no qual o petróleo 32%, carvão 26% e 17% gás natural (PACHECO; HELENE, 2006).

4.2. Eucalipto

As plantas do gênero *Eucalyptus* originárias da Austrália sendo relatadas cerca de 600-800 espécies altamente adaptados para várias regiões fora do seu habitat natural, no Brasil foi adotado como uma das principais espécie para as florestas plantadas destinadas para papel, celulose e madeira, com plantios homogêneos com uma variedade clonal e aplicada em larga escala (SANTOS et al., 2008). De acordo com Myburg em 2014 os Eucaliptos são muito versáteis e altamente responsivos em taxa de crescimento, acúmulo de biomassa florestal e sendo amplamente utilizada pelas indústrias de fabricação de papel e movelarias. O Eucalipto se enquadra na classe das plantas classificadas como plantas C3, ou seja, é uma planta sem adaptações fotossintéticas para reduzir a fotorrespiração e fazem a mesma com a captura do carbono atmosférico pelos estômatos e passando pela RUBISCO (1,5 Ribulose Bisfosfato Carboxilase Oxigenase) que se situa nos cloroplastos com auxílio da molécula composta por 3 carbonos (3-PGA) (LUDLOW, 1980; LEHNINGER, 2014).

4.3. Coluna média de CO_2 (X_{CO_2}) e Fluorescência Induzida pelo Sol (SIF)

A variável X_{CO_2} trata-se da coluna média de CO_2 na atmosfera terrestre, feito com o satélite da NASA (OCO-2) Observatório de Carbono em Órbita 2,

tendo boa resolução espacial de aproximadamente 3 km² e precisão ~1ppm (CRISP et al, 2017), X_{CO_2} é coletado pelo satélite por meio de um sensor que afere entre o Sol e a superfície da Terra e o satélite. Ele mede a coluna de ar da superfície até o topo da atmosfera fazendo a proporção de CO₂ e O₂ ao longo do caminho óptico e em seguida ocorre a multiplicação deste resultado pela coluna média da concentração de oxigênio (0,20935). Estes valores são previamente determinados com base de estudos em micro-ondas.

A variável SIF, Fluorescência Induzida pelo Sol, também fornecida pelo satélite OCO-2, indica a atividade fotossintética existente no ponto amostrado e utiliza comprimentos de ondas 771 e 757 nanômetros que são respectivamente os produtos SIF771 e SIF757. Em alguns trabalhos o SIF é usado para melhorar a compreensão da dinâmica de carbono atmosférico.(FRANKENBERG et al., 2011; SUN et al., 2017; CASTRO et al., 2020).

4.4. Biomas do Mato Grosso do Sul

O Estado do Mato Grosso do Sul é rico em biodiversidade, possui muitos exemplares de fauna e flora e sendo subdividido em três grandes biomas dentre eles temos Pantanal que está mais a Noroeste do Estado, Cerrado que está na parte central e Mata Atlântica na parte mais a sul.

Cada bioma tem suas características inerentes que distinguem um do outro, com isto temos característica do Cerrado por *Sensu strictu* como camada herbácea, rasteira com árvores esparsas com maior presença de gramíneas podendo variar de 600 a 1200 plantas por hectare. Possui uma característica savânica, sendo natural a ocorrência de queimadas periódicas e o bioma evolui

com as queimadas, pois existem muitas sementes que perdem dormência com as queimadas (FELFILLI, 2005).

Já o bioma da Mata Atlântica hoje é um mosaico extremamente fragmentado, extensamente devastado, cerca de 92% em todo o país, são florestas mais densas, dossel mais elevados, maior biodiversidade de fauna e flora, são exploradas desde do descobrimento do Brasil, sendo afetada por ações antrópicas e hoje existem fragmentações da Mata Atlântica, para o bioma isto é o represamento dos genes, aumento de endogamia e perda de variabilidade genética e consequente morte da fauna e flora (ZAÛ, 1998).

Temos também Pantanal que é um ecótono, ou seja, encontro de vários biomas, possui períodos de cheia e seca formando uma diversidade única, formando uma união das comunidades Hidrófilas, Xerófilas, Heliófitas, Higrófilas e Mesófilas (FELFILLI, 2005)

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Local de estudo

O local de estudo ficou definido como sendo o Estado do Mato Grosso do Sul latitude Sul 20.7882° e longitude Oeste 51.7030°, na região do Centro-Oeste dividido conforme os biomas de ocorrência natural no estado tais como: Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica, pelo fato deste estado ser o segundo maior produtor de madeira e celulose de Eucalipto do Brasil (Figura 1). O clima é classificado como tropical, sendo Aw conforme classificação de Köppen e Geiger, temperatura média é de 24,2 °C e a precipitação anual é 1241 mm.

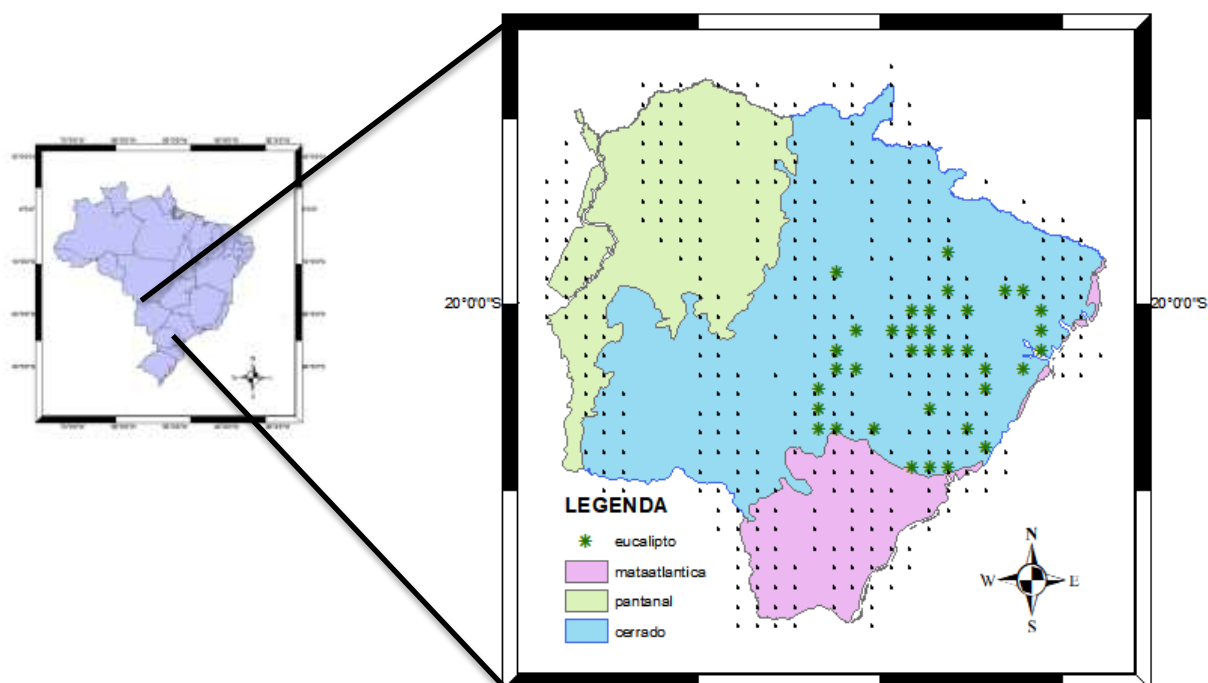


Figura 1 Mapa destacando a localização do Estado com seus pontos de dados coletados e biomas

5.2. Plataformas para extração de dados

As bases de dados com as variáveis adquiridas e suas respectivas resoluções são apresentadas na Tabela 1, extraímos a coluna média do CO₂, SIF 771, SIF 757, EVI, NDVI e demais variáveis para o período de 2015 a 2018, temos na Tabela 1 os satélites e as suas respectivas resoluções espaciais. Aderindo à política do “Open Data” e “Open Science”, salientamos que ao final da execução desse projeto todos os bancos de dados serão disponibilizados em plataformas de compartilhamento de dados.

Tabela 1 Tabela da precisão dos dados obtidos.

	Variáveis	Base de dados	Resolução temporal	Resolução espacial
CO ₂	X _{CO2}	OCO-2	16 dias	1km x 2km
Clima	Toda Insolação incidente	NASA POWER	Diário	1°
	Temperatura média do ar a 2 metros (°C)	NASA POWER	Diário	1°
	Umidade Relativa do ar (%)	NASA POWER	Diário	1°
Vegetação	NDVI (0-1)	MOD13C2	16 dias	0,26°
	LAI (m ² .m ⁻²)	MOD15A2H	8 dias	500m
	ET (Kg m ⁻² 8 ⁻¹ dia ⁻¹)	MOD16A2	8 dias	500m
	SIF 757 nm (wm ⁻² sr ⁻¹ um ⁻¹)	OCO-2	16 dias	1km x 2km
	SIF 771 nm (wm ⁻² sr ⁻¹ um ⁻¹)	OCO-2	16 dias	1km x 2km

5.3.Extração de dados na plataforma Appeears

Como obtivemos os dados da plataforma OCO-2 foi constatado as coordenadas, anotadas em um bloco de notas à parte. Foi feito o acesso na plataforma NASA Appeears por meio do endereço eletrônico

“<https://lpdaac.usgs.gov/tools/appeears/>” e dentre as opções colocamos as coordenadas do OCO-2 para coincidir o grid e com isso poderemos fazer uma correlação segura entre variáveis como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Huete et al., 1997) e EVI (Índice de Vegetação Aprimorado), (ROUSE et al., 1973) essas variáveis serão utilizadas para correlacionar com CO₂; é utilizado o sensor MODIS. O uso dos dados do MODIS nos dá a capacidade de observarmos a vegetação a nível global e acompanharmos as mudanças que ocorrem com o uso e cobertura da terra (HUETE et al., 2012). O EVI (Índice de Vegetação Aprimorado) vem para mitigar o solo com o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado do Solo) e a atmosfera com o ARVI (Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera) para mapear a vegetação (HUETE et al., 1997). O NDVI é melhor para detecção de clorofila que trabalha na faixa do vermelho, já o EVI é melhor para podermos ver as alterações do dossel (GAO et al., 2000).

Com isto temos a equação para EVI abaixo:

$$EVI = g \cdot \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + (C1 \rho_R) - (C2 \rho_B) + 1}$$

Onde temos:

ρ_{NIR} , ρ_R e ρ_B : refletância no infravermelho próximo, nas faixas espectrais vermelho e azul respectivamente;

g : fator de ganho (2,5);

$C1$ e $C2$: são os coeficientes de correção de efeitos atmosféricos para vermelho (6) e azul (7,5), respectivamente;

l: fator de correção para interferência do solo.

Temos para NDVI a equação abaixo:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

Onde temos:

ρ_{NIR} e ρ_R : reflectância nas faixas espectrais do infravermelho próximo e vermelho,

5.4. Obtenção de dados pela plataforma NASA POWER

A NASA sempre patrocina satélites que nos disponibiliza uma gama de dados relacionados ao clima e CO₂ e com isto tenta nos fornecer um parâmetro para próximas décadas das alterações do clima por ações antrópicas, mudança do dossel, mudança do uso da terra e com isso criou o projeto chamado *Prediction Of Worldwide Energy Resource* (POWER).

Os dados foram extraídos do website “<https://power.larc.nasa.gov>” e selecionamos os produtos que desejamos como por exemplo radiação solar global, velocidade do vento, temperatura da superfície, temperatura do ar, umidade do ar, tem uma pasta voltada para edifícios sustentáveis e demais ramos de estudo da NASA, e com isto selecionamos a área de estudo desejada , neste caso o estado Mato Grosso do Sul, em vários polígonos que dimensiona o território e iniciamos a aquisição dos dados que vem em planilhas em Excel.

A umidade relativa é calculada com base da pressão, temperatura e umidade específica (obtidos no modelo de assimilação), a precipitação é obtida

no produto GPCP 1-DD Satellite-Gauge e as temperaturas são valores calculados com base na umidade relativa e na temperatura do ar.

5.5. Estatística descritiva e análise de relação de dependência

Os dados foram organizados em médias mensais e em biomas/eucalipto para cada coordenada geográfica do estado do Mato Grosso do Sul, foi feito também a correlação de Pearson (Equação 1) para compreender a dependência de uma variável com a outra e para confirmarmos foi feito também a Regressão linear (Equação 2)

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde temos:

X_i são os valores observados da variável X;

$\bar{x}$ é a média da variável X;

Y_i são os valores observados da variável Y;

$\bar{x}$ é a média da variável

$$R^2_{adjusted} = \left[1 - \frac{(1-R^2)(n-1)}{N-k-1} \right] \quad \text{Equação 2}$$

Onde temos:

N números de pontos da amostra;

K número de regressores independentes

5.6. Distribuição espacial

O mapeamento feito para o estado do Mato Grosso do Sul das variáveis mais importantes foram feitas com base do IDW (Inverso do Quadrado da

Distância) com o auxílio do software chamado ArcGIS 10.7.1, os dados foram separados com base em períodos chuvosos e secos de acordo com Teodoro (2016) para os anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 e os arquivos com as matrizes foram feitos para dentro dos limites do estado do Mato Grosso do Sul e sendo gerado mapas destas variáveis de formato bidimensional. Este método é amplamente utilizado em geociências para interpolar pontos que apresentam espaços vazios sem informações coletadas, e os pesos são calculados com base da sua distância ao local de interpolação fazendo com que as observações mais próximas tenha maior poder de semelhança do que os pontos mais distantes (CHABOISSIER, 1968), com isto os pontos mais próximos tem maior importância na hora de calcular a interpolação, portanto receberão maior peso no cálculo do IDW e os vizinhos mais próximos são interpolados dada a equação abaixo:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_{ij}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^2}} \quad \text{Equação 3}$$

5.7. Anomalias de X_{CO_2}

O modelo de anomalia adotado, baseia-se no descrito por Hakkarainen et al. (2016), onde os valores de anomalia maiores do que zero é caracterizado como fontes de emissão de carbono e, para valores menores que zero, é atribuída como uma fonte de absorção de carbono. Estas duas caracterizações são atribuídas a atividades antrópicas como, queima de combustível fósseis e queimadas quando se trata de fonte de emissões e as de absorção são atribuídas a atividades biosféricas como, crescimento de matas e atividades fotossintéticas.

O cálculo da anomalia se dá pela diferença entre a observação e a mediana diária das observações. Considerando que este estudo é a nível regional, diferentemente do estudo base que considera dados globais, não há quantidade de dados suficientes para seguir o modelo exato, porém é possível adaptá-lo utilizando a mediana anual ao invés da diária, desta maneira o modelo de anomalia adotado é:

$$XC_{O2} (anomalia) = XC_{O2} (Observado) - XC_{O2} (mediana total)$$

6. RESULTADOS

6.1.1. Variação temporal

Os valores médios e a variação temporal da X_{CO_2} para os biomas e a macrorregião produtora de eucalipto do Mato Grosso do Sul, Brasil em todas áreas de estudo foram semelhantes. Para o bioma Cerrado, a média máxima ($401,13 \pm 0,38$ ppm) e mínima ($395,66 \pm 0,37$ ppm) foram observadas em setembro de 2017 e janeiro de 2018 respectivamente. Na Mata Atlântica, foram os meses de março e novembro de 2015 que apresentaram respectivamente a média mínima ($395,58 \pm 0,42$ ppm) e a média máxima ($401,65 \pm 0,40$ ppm). Com relação ao Pantanal foi registrado em janeiro de 2018 a média mínima ($395,12 \pm 0,48$ ppm) e a média máxima foi registrada em julho de 2016 ($401,19 \pm 0,22$ ppm), por fim, a área de Eucalipto teve média mínima ($395,38 \pm 0,97$ ppm) em maio 2015 e a média máxima ($401,20 \pm 0,38$ ppm) em junho de 2016.

De modo geral, o bioma Cerrado apresenta o período de alta da X_{CO_2} entre os meses de maio a outubro, comportamento semelhante foi observado para o Pantanal. Para a Mata Atlântica esse período estendeu-se de abril a

outubro, enquanto para macrorregião de eucalipto foi onde se observou menor período, de junho a outubro. Tanto os biomas quanto a macrorregião de eucalipto apresentaram início da queda da X_{CO_2} em outubro, estendendo-se até fevereiro a março. Comportamento inverso foi observado para ambas as SIF's

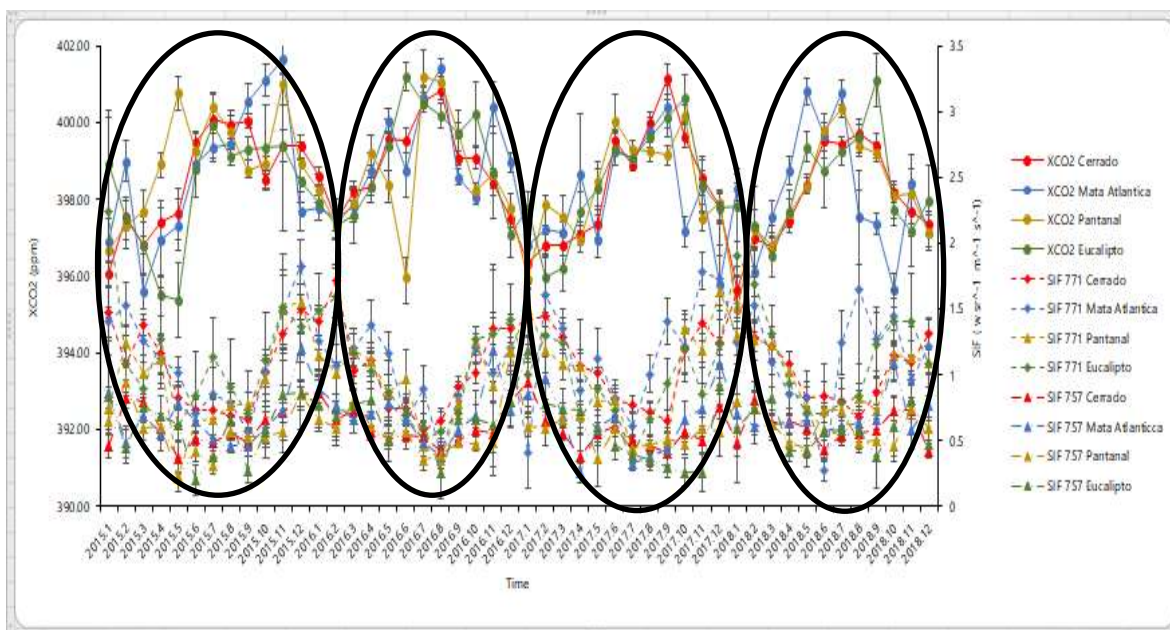


Figura 2 Gráfico com média e distribuição temporal da X_{CO_2} , SIF 757 e SIF 771 para os biomas e macrorregião produtora de eucalipto do Mato Grosso do Sul, Brasil. As elipses em preto indicam os períodos em que o comportamento de X_{CO_2} é nitidamente o inverso da SIF.

As médias da SIF 757 foram mais altas quando comparadas com a SIF771. Observado as áreas de estudo, o bioma Pantanal apresentou as menores médias tanto para SIF757 ($0,94 \pm 0,021 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$) quanto para SIF771 ($0,567 \pm 0,013 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$) com relação as demais áreas. A Mata Atlântica e a Macrorregião de Eucalipto apresentaram as médias mais altas de SIF, sendo, $1,07 \pm 0,030 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF757) e $0,639 \pm 0,019 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF771) para mata atlântica e $1,03 \pm 0,038 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF757) e

$0,616 \pm 0,025 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (SIF771) para Macrorregião de Eucalipto. No Cerrado as médias foram $1,01 \pm 0,06 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e $0,583 \pm 0,001 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para SIF757 e SIF771, respectivamente.

As médias mínimas e máximas de SIF 757 variaram de $0,37 \pm 0,11$ a $0,94 \pm 0,22 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ para os meses de maio 2015 e janeiro 2017 respectivamente, para o bioma Cerrado . Na Mata Atlântica os valores oscilaram de $0,26 \pm 0,08$ a $1,20 \pm 0,11 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ (2017-04 e 2015-12) respectivamente, obtivemos valores de $0,21 \pm 0,03$ como mínimo (maio de 2015) a $1,18 \pm 0,11 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ como máximo (dezembro de 2016) para o bioma Pantanal e por fim área de Eucalipto foi registrado valores de $0,20 \pm 0,11$ a $1,19 \pm 0,09 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ para os meses de junho 2016 e janeiro 2017 respectivamente.

Para SIF771 a média máxima e mínima , variaram de $0,577 \pm 0,053$ a $1,713 \pm 0,125 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ meses de julho 2016 e fevereiro 2016 respectivamente para o bioma do Cerrado, para o bioma da Mata Atlântica foi constatado valores entre $0,273 \pm 0,08$ (2018-06) a $1,81 \pm 0,21$ (2015-12) ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1}$), já no Pantanal obtivemos como valores de mínimo e máximo respectivamente de $0,23 \pm 0,12$ a $1,63 \pm 0,34 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ para valor mínimo maio de 2015 e máximo dezembro de 2017 e por fim variaram de $0,399 \pm 0,078$ a $2,24 \pm 0,72 \text{ (W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-1})$ para os meses de julho 2017 e janeiro 2015 respectivamente para área de Eucalipto. Na figura 3 nos círculos demonstrados ocorre que o SIF é inversamente proporcional a X_{CO_2} .

Com o Heatmap da matriz de correlação de Pearson podemos observar como as demais variáveis se relacionam a X_{CO_2} , tanto diretamente quanto

inversamente, em como elas influenciam na concentração atmosférica do CO₂, para as coberturas de Cerrado (Figura 4A), Mata Atlântica (Figura 4B), Pantanal (Figura 2C) e Eucalipto (Figura 4D), conforme critério de corte adotado ($>|0,4|$).

Em relação ao Cerrado temos correlações significativas da X_{CO2} com NDVI (-0,8), SIF 771 (-0,75) e EVI (-0,71). Na Mata Atlântica as variáveis que melhor se correlacionaram com X_{CO2} foram a WS10M (0,46), EVI (-0,46), NDVI (-0,45), SIF 757 (-0,42) e SIF 771 (-0,41). Para o bioma do Pantanal foi observado correlações negativas com RH2M (-0,62), WS10M (0,57), EVI (-0,55), WS2M (0,54), SIF 771 (-0,53) e SIF 757 (-0,46) e por fim temos a área de Eucalipto que foi observada um correção significativa com EVI (-0,67), SIF 771 (-0,45), RH2M (-0,53), WS10M (0,62), WS2M (0,62) e NDVI (-0,66).

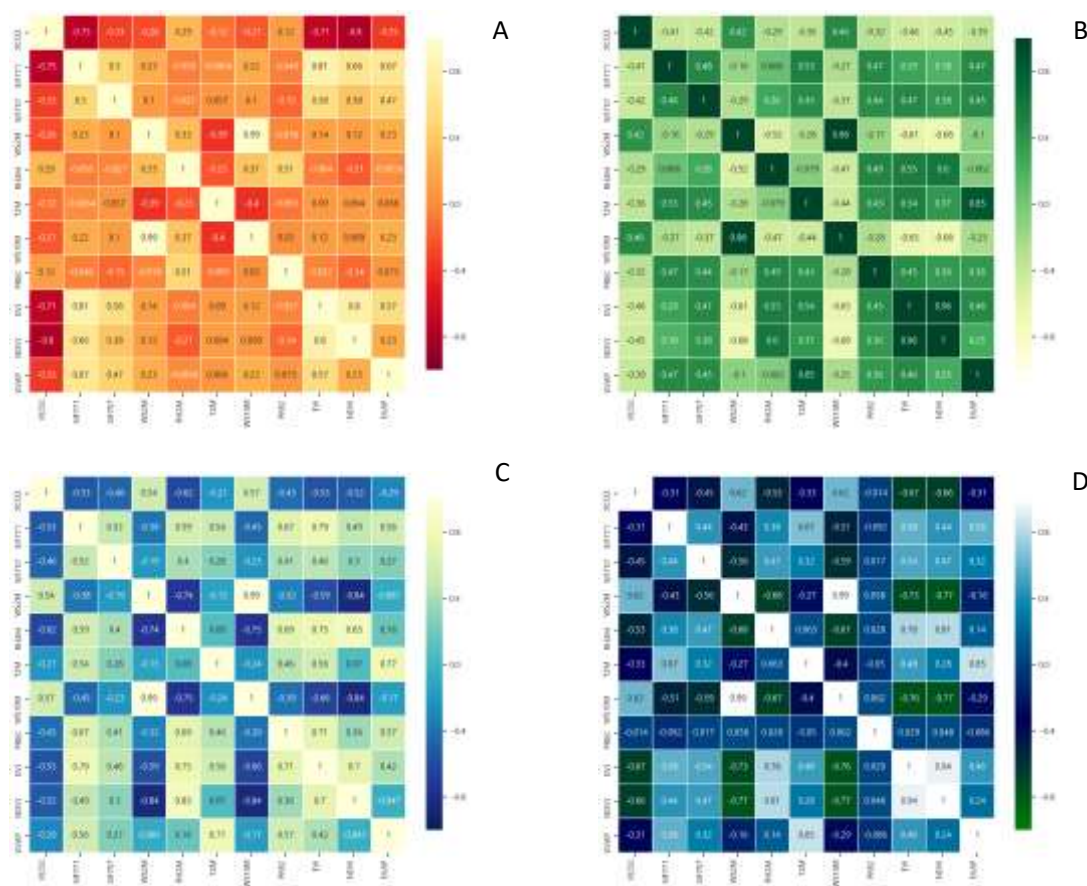


Figura 3 Heatmap com matriz de correlação para (A) Cerrado, (B) Mata Atlântica, (C) Pantanal e (D) Macroregião de Eucalipto no estado do Mato Grosso do Sul.

Com posse dessas informações, foi feita a regressão linear para entendermos melhor a dependência entre a X_{CO_2} e as demais variáveis (Figura 5). De acordo com o observado para SIF 771 no Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e área de Eucalipto ($R^2_{adj} = 0,15$, $R^2_{adj} = 0,27$, $R^2_{adj} = 0,55$ e $R^2_{adj} = 0,07$ respectivamente), todos para $p < 0,05$. Foi observado com EVI e obtivemos os seguintes resultados, $R^2_{adj} = 0,49$ (representa 49% da variação da X_{CO_2}) no bioma Cerrado, $R^2_{adj} = 0,20$ (representa 20%) no bioma Mata Atlântica, $R^2_{adj} = 0,29$ (representa 30% da variação da X_{CO_2}) no bioma Pantanal, $R^2_{adj} = 0,44$ (representa 44% da variação da X_{CO_2}) na área de Eucalipto, todos para $p < 0,05$; Foi feito também com NDVI e os resultados colhidos no Cerrado, Mata

Atlântica, Pantanal e em área de Eucalipto foram respectivamente, $R^2_{adj} = 0,63$, $R^2_{adj} = 0,18$, $R^2_{adj} = 0,26$ e $R^2_{adj} = 0,46$, todos para $p < 0,05$.

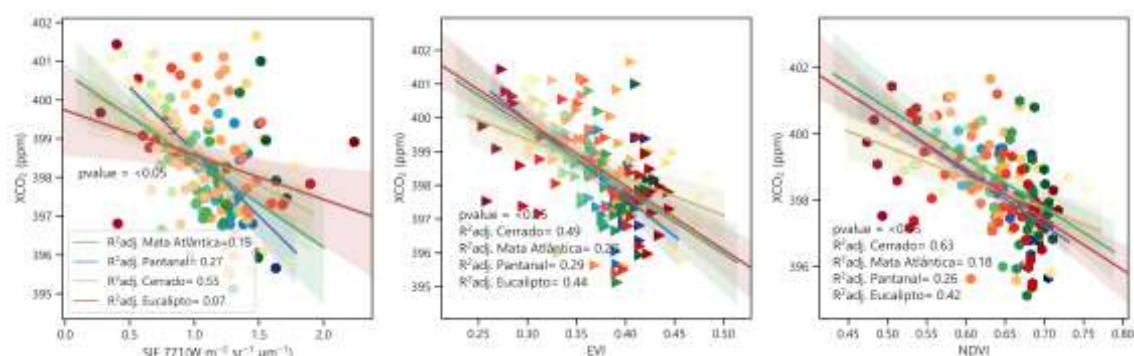


Figura 4 Regressão linear entre XCO₂ e SIF771 (A), EVI (B) e NDVI (C).

Tendo em vista que a SIF771 foi a que melhor explicou a variação da XCO₂, uma análise de regressão entre a SIF771 (Figura 6) com outras variáveis para entendermos melhor a dependência dos valores em relação ao SIF 771, com isso, observamos com Evapotranspiração total no Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e área de Eucalipto obtivemos respectivamente, $R^2_{adj} = 0,44$, $R^2_{adj} = 0,20$, $R^2_{adj} = 0,30$ e $R^2_{adj} = 0,32$, todos para $p < 0,001$. De acordo com o observado com NDVI obtivemos, $R^2_{adj} = 0,66$ (representa 66% da variação da SIF 771) no bioma Cerrado, $R^2_{adj} = 0,62$ (representa 62% da variação da SIF 771) no bioma Pantanal e $R^2_{adj} = 0,33$ (representa 33% da variação da SIF 771) para área de Eucalipto, todos para $p < 0,001$. Coletamos os seguintes dados em relação ao EVI, no bioma Cerrado o valor foi de $R^2_{adj} = 0,66$, no bioma Pantanal o valor foi de $R^2_{adj} = 0,62$ e para a área de Eucalipto o valor foi de $R^2_{adj} = 0,33$, todos para $p < 0,05$ e por fim observamos com Temperatura do ar para os seguintes biomas Mata Atlântica e área de Eucalipto constatamos os seguintes valores respectivamente, $R^2_{adj} = 0,26$ e $R^2_{adj} = 0,44$, todos para $p < 0,001$.

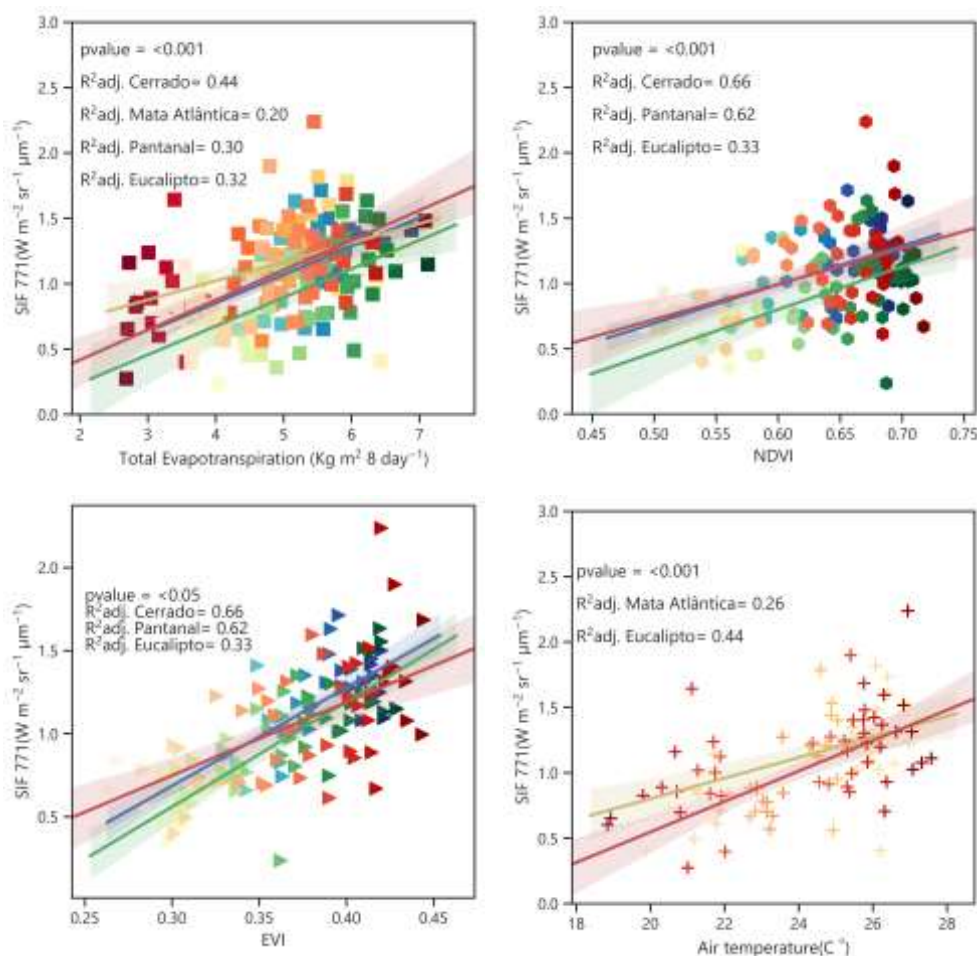


Figura 5 Regressão linear da SIF771 com Evapotranspiração total (A), NDVI (b), EVI(C) e Temperatura do ar (D).

6.1.2. Variação espacial

Para o ano de 2015 no período úmido o X_{CO_2} apresentou valores menores na parte centro-norte, sudoeste e leste do estado enquanto isto os maiores valores se concentraram na região central. No período seco na porção norte e oeste obtivemos valores mínimos e porção nordeste do estado temos valores máximos.

Já no período úmido de 2016 foi constatado valores de X_{CO_2} menores na porção central e sul e os valores máximos na porção oeste do estado. No período seco do mesmo ano se distribui na região norte os valores máximos e no sudoeste do estado temos valores mínimos de X_{CO_2} .

No período úmido de 2017 os valores máximos de X_{CO_2} se concentram na região nordeste e os menores valores na região sudoeste. Para o período seco do mesmo ano os maiores valores situam-se na porção noroeste do estado e os menores valores majoritariamente nordeste.

Por fim temos o período úmido de 2018 com uma pequena porção norte e outra mais ao sul do estado com menores índices de X_{CO_2} e para período seco do mesmo ano a região noroeste do estado com maiores índices da variável e na região central, uma pequena mancha ao sul e outra a sudoeste relatam-se valores menores de X_{CO_2} .

De forma geral a variação espacial do X_{CO_2} não seguiu um padrão ao decorrer dos anos 2015 a 2018, porém com o ano 2015 no período úmido a X_{CO_2} foi baixa em relação aos outros períodos para todo o estado do Mato Grosso do Sul.

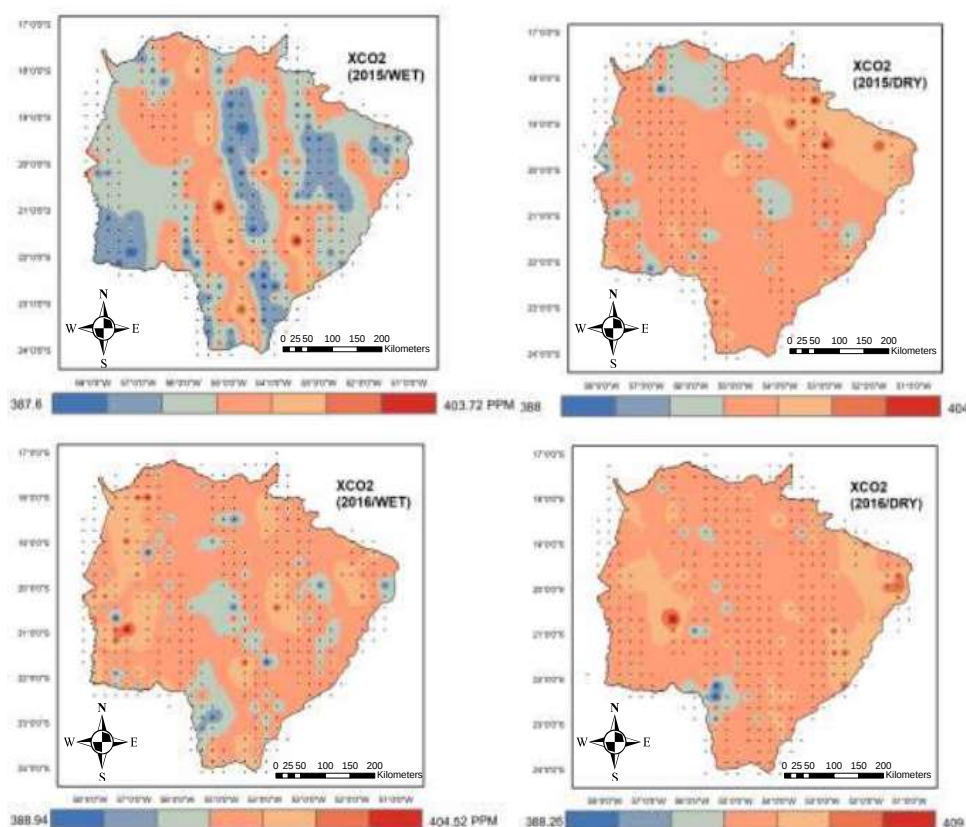


Figura 6 Mapas com X_{CO_2} com os períodos úmido 2015, seco 2015, úmido 2016 e seco 2016.

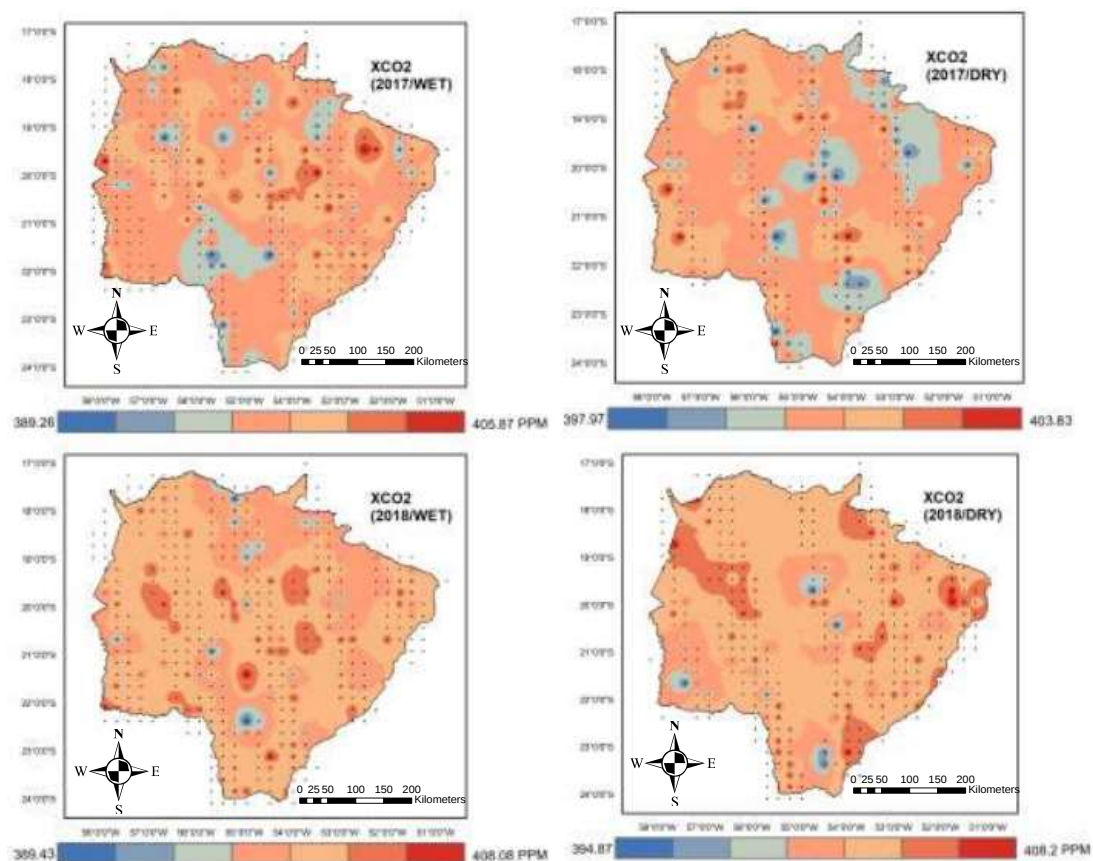


Figura 7 Mapas com X_{CO_2} com os períodos úmido 2017, seco 2017, úmido 2018 e seco 2018

Para SIF 757 ocorreu variações no ano 2015 no período úmido obtivemos uma maior concentração de valores máximos no sul e nordeste do estado e os menores valores de SIF foi na região central. Os máximos valores de SIF temos na porção nordeste e os mínimos valores na porção central e manchas no oeste do estado para o período seco do mesmo ano. No período úmido de 2016 foi constatado no nordeste e oeste do estado maiores valores de SIF e os valores mínimos na parte leste e norte do estado para período úmido. No período seco os máximos valores foram detectados na parte leste e sul e os mínimos valores na parte oeste do estado. No período úmido de 2017 a região sul do estado se encontram os valores máximos, na região central e oeste do estado os valores mínimos se encontram de SIF. Já no período seco

os menores valores concentram na região norte do estado e os maiores valores encontram-se no leste do estado.

Por fim o ano de 2018 no período seco os maiores índices de SIF ficam concentrados na região central e sudeste do estado e os menores índices concentram-se na porção norte e nordeste do estado. No período úmido do mesmo ano os maiores valores são encontrados na região norte e oeste do estado e os menores valores concentram-se na região central e noroeste do estado.

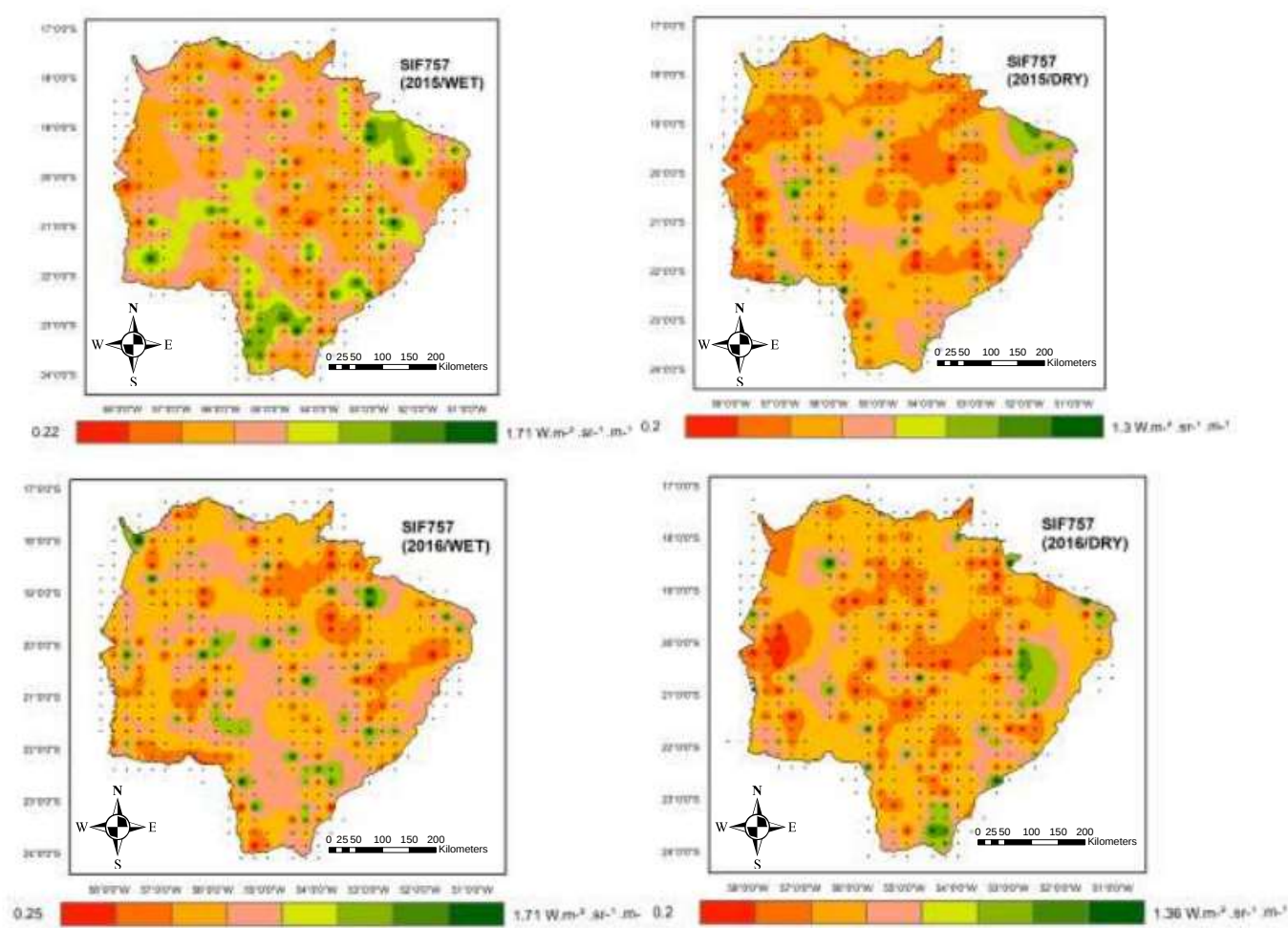


Figura 8 Mapas com SIF757 nos anos de 2015 e 2016.

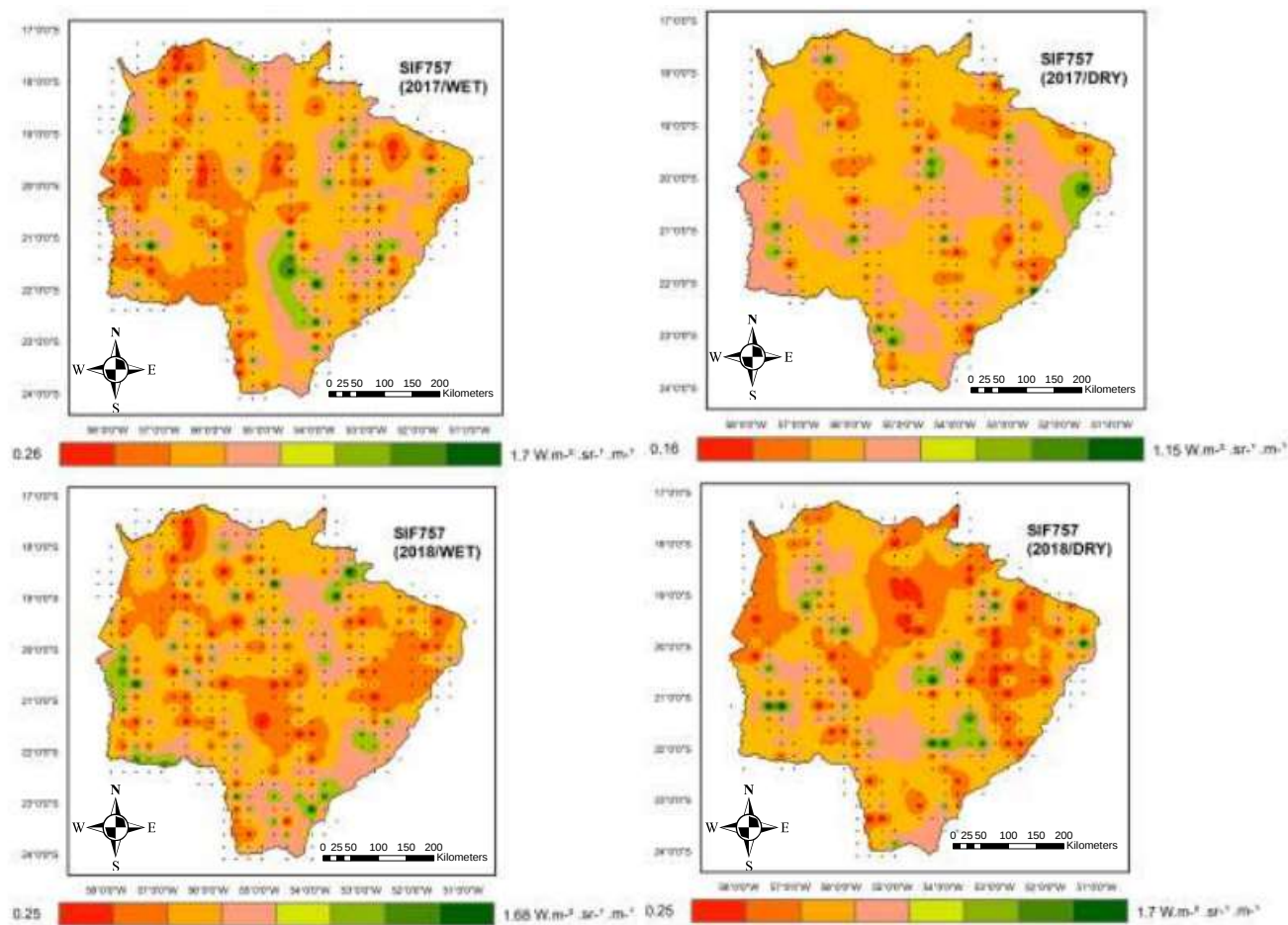


Figura 9 Mapas com SIF757 nos anos de 2017 e 2018.

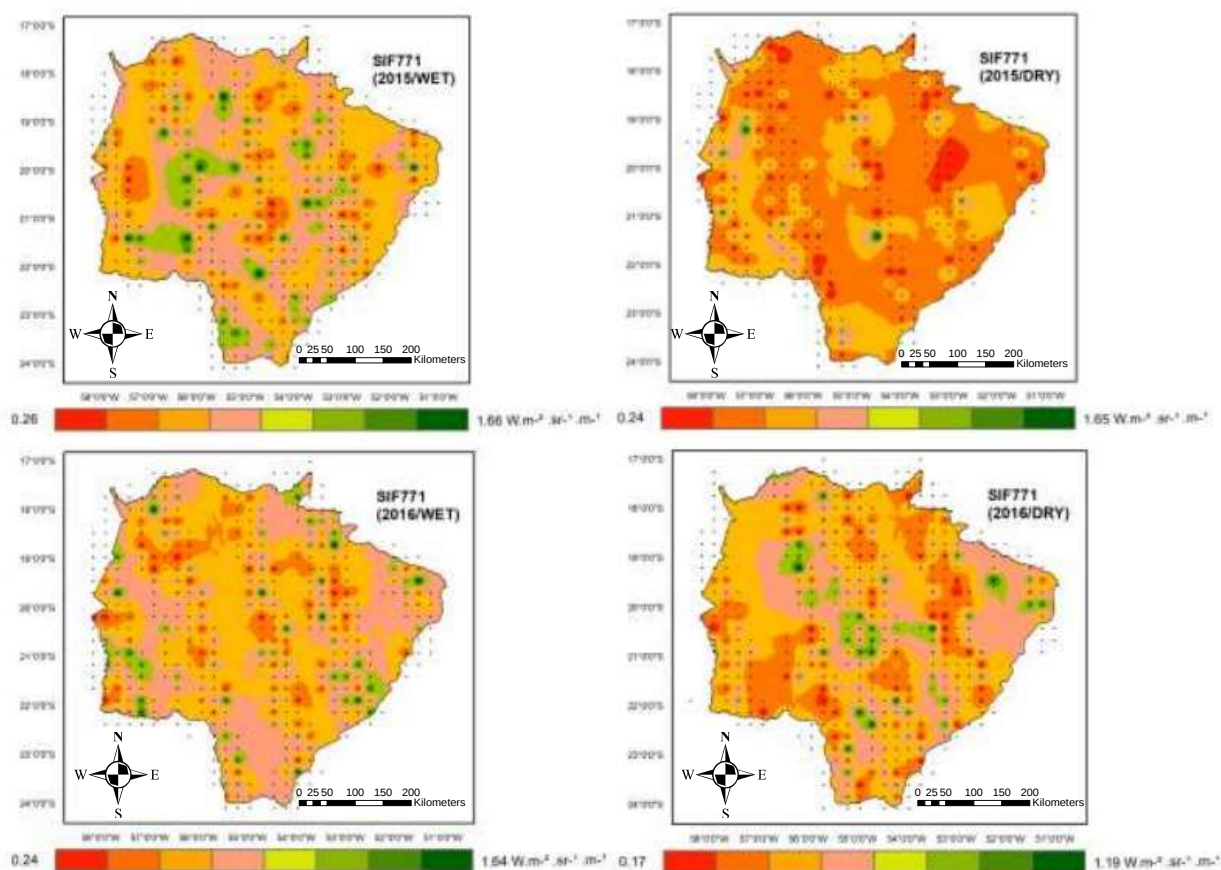


Figura 10 SIF 771 para períodos 2015 seco, 2015 úmido, 2016 seco e 2016 úmido.

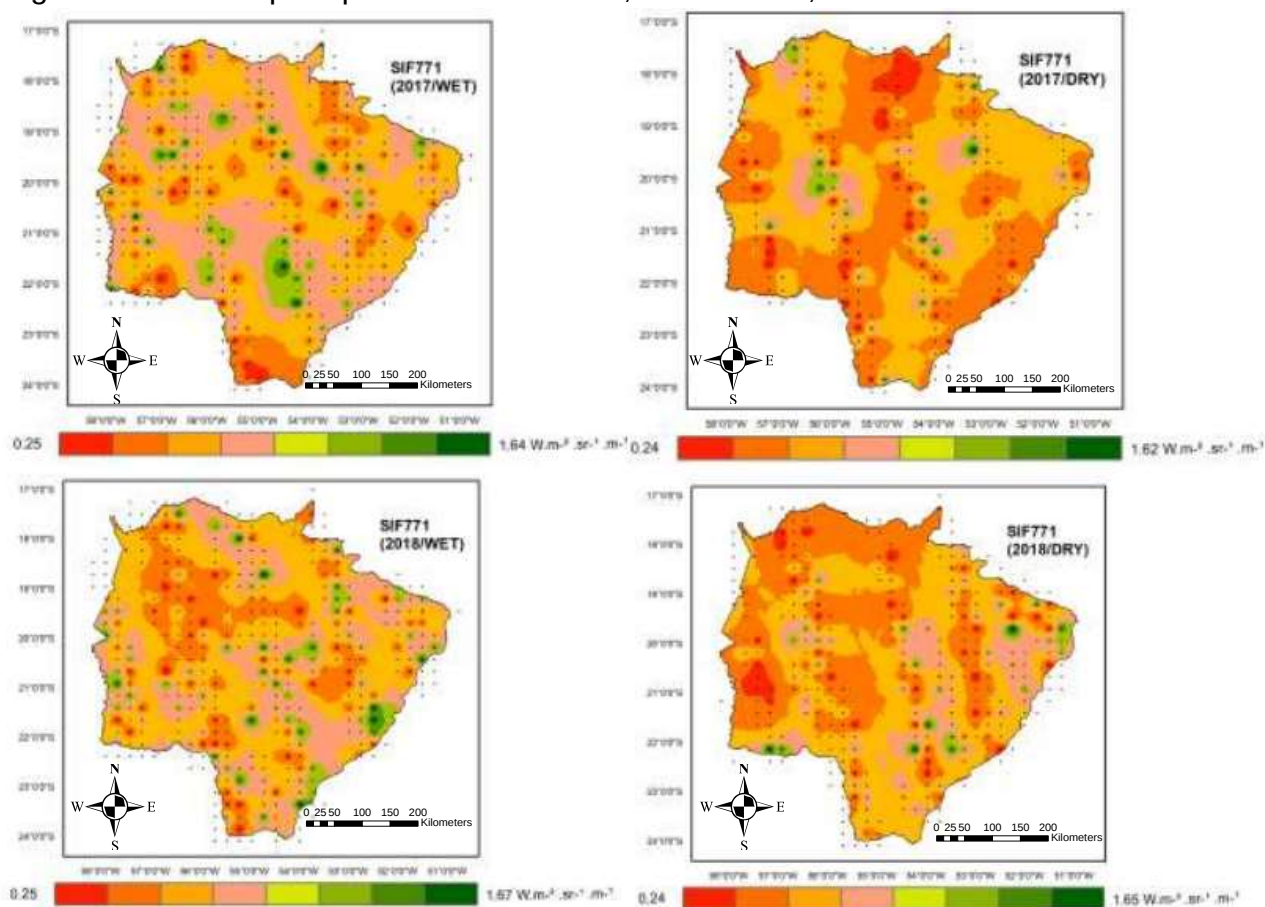


Figura 11 SIF 771 para períodos 2017 úmido, 2017 seco, 2018 úmido e 2018 seco.

Para SIF 771 obtivemos para o ano de 2015 com período chuvoso maiores valores na porção oeste do estado com alguns na região central de forma dispersa e os menores valores ocorrem na região central, tivemos baixos índices de SIF concentrados na porção central e nordeste do estado e os maiores valores no centro do estado para o período seco, em 2016 os indicadores menores foram detectados na região central e parte noroeste, e o maiores indicadores porção sudeste e oeste do estado para o período úmido, para o período seco tivemos maiores índices no centro do estado e menores índices nordeste e sudoeste do estado, os maiores valores de SIF para o ano de 2017 úmido ficou na parte sul e algumas manchas na região central e menores valores no sul do estado, na região norte do estado valores de SIF foram maiores e na região central e norte menores valores foram encontrados para o período seco e por fim tivemos o ano de 2018 estudado, período chuvoso menores valores ficam na porção central enquanto isso os maiores índices ficaram na região sudeste do estado e no período seco obtivemos altos valores na região sul e nordeste do estado no entanto menores valores ficaram na região noroeste e central do estado.

De forma geral os menores valores de SIF se concentraram mais na região central do estado sendo local de ocorrência do bioma Cerrado e os maiores valores ocorrem de forma bem casual pelo estado, alguns no bioma Cerrado, outros no bioma Pantanal e por fim alguns na Mata Atlântica.

As anomalias de X_{CO_2} (figura 9) variaram de -11 a 8, sendo que os valores negativos indicam absorção de carbono e os positivos perdas de carbono para atmosfera. De modo geral observou-se poucos pontos com valores altos de perda de carbono, entretanto, esses pontos se concentraram

mais no bioma Cerrado. Em alguns pontos de eucalipto foram observado pontos azuis que indicam valores negativos de anomalia, indicando assim, focos de absorção de carbono. No bioma Mata Atlântica também foram observados vários pontos de absorção de carbono.

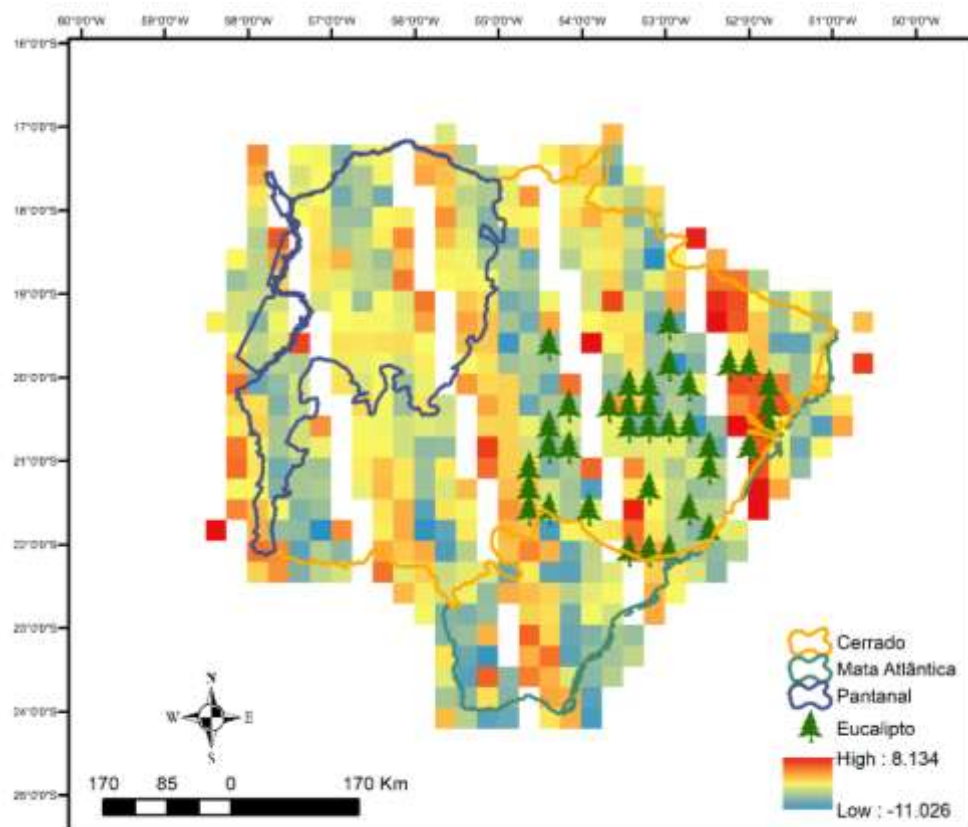


Figura 12 Mapa com anomalias de X_{CO_2} para o estado do Mato Grosso do Sul.

6.2. Discussão

6.2.1. Variabilidade temporal para X_{CO_2}

A dinâmica do CO_2 na atmosfera apresenta variações, que na literatura é reportada como a curva de Kelling (KELLING, 1978; UPRETY e CAO, 2016; PILI e VIOLANDA, 2020). Essa curva demonstra os períodos de respiração e absorção de CO_2 , quando a curva cai significa que a fotossíntese

é o agente dominante, o contrário, significa que a respiração do ecossistema está sendo maior que o processo de fotossíntese.

Neste sentido os ecossistemas desempenham um papel fundamental na ciclagem global do carbono e no clima da terra porque eles absorvem e liberam CO_2 por meio da fotossíntese e da respiração, respectivamente (SCHIMEL, 1995). Os ecossistemas terrestres têm absorvido cerca de 25 a 30% das emissões antropogênicas de CO_2 nas últimas cinco décadas (LE QUÉRE *et al*, 2009). Grande parte dessa absorção ocorre por meio do acúmulo de carbono via fotossíntese pela biomassa florestal (RICHARD *et al*, 2011) e nos solos (DE ARAÚJO SANTOS *et al*, 2019).

Vários estudos têm apontado a sensibilidade da X_{CO_2} a dinâmica da vegetação e a mudança das taxas fotossintéticas (MOUSAVI *et al.*, 2017; MORAIS FILHO, 2018; CHHABRA e GOHEL, 2019; GOLKAR *et al.*, 2020). Moraes Filho, (2018) avaliando a variabilidade temporal da X_{CO_2} sob diferentes agro ecossistemas no Brasil, observou relações negativas entre a X_{CO_2} com NDVI e SIF em áreas de produção de soja e cana-de-açúcar. Os seus resultados demonstram a sensibilidade da variabilidade temporal da X_{CO_2} quanto ao tipo de cobertura, visto que em áreas de produção agrícola, essa mudança ocorre com frequência.

Chhabra e Gohel, (2019) também observaram uma forte correlação negativa entre a X_{CO_2} e o NDVI com grandes variações sobre os diferentes tipos de cobertura do solo. Desta forma, o presente estudo reforça o que Chhabra e Gohel apontaram, o papel significativo da vegetação e diferentes tipos de cobertura do solo no controle concentrações atmosféricas de X_{CO_2} .

Esses autores também destacam o papel coadjuvante das chuvas nessa dinâmica, visto que, a água é um dos principais combustíveis para que haja a fotossíntese.

Essa relação da variação da concentração atmosférica de CO₂ com os regimes de chuva é reportado por Wang *et al.*, (2016). Segundo esses autores, a sensibilidade da cobertura vegetal a precipitação, pode afetar diretamente a variabilidade do CO₂ atmosférico. Em nosso estudo, essa sensibilidade pode ser observada ao analisar os períodos de aumento da concentração de CO₂, onde na região com produção de eucalipto isso aconteceu em um período mais curto, de 5 meses. Outro fato que merece destaque é o período de início da diminuição da X_{CO2}, que foi em outubro para todo estado independente de bioma.

O cultivo de eucalipto é bastante tecnificado, com manejo adequado em questões manejo do solo (ROCHA *et al.*, 2019). Além disso, o eucalipto consegue buscar água em grandes profundidades (DAWSON e PATE, 1996; LE MAITRE *et al.*, 2002) o que lhe possibilita altas taxas de crescimento e consequentemente alta absorção de carbono atmosférico. Alguns estudos reportam o impacto do cultivo de eucalipto no acúmulo de carbono, seja em florestas plantadas (YU *et al.*, 2020) ou em sistemas integrados (SANTOS *et al.*, 2020). De acordo com Whitehead R Beadle, (2004) muitas espécies de eucalipto sob uma ampla gama de condições a que são submetidas, podem apresentar potencial pra altas taxas de absorção de carbono.

Para o Cerrado e o Pantanal, Rossi and Santos, (2020) observaram valores parecidos quanto a produtividade primaria bruta (GPP) nesses dois

biomas, o que indica semelhança quanto a ciclagem de carbono. Apesar de apresentarem comportamentos diferentes quanto ao ciclo hidrológico, esses dois biomas são compostos por grandes áreas de pastagens nativas, o que lhe conferem alguma semelhança quanto a absorção de carbono. Rossi e Santos (2020) observaram aumento nas taxas de GPP nesses biomas a partir do mês de outubro, o que corrobora com os nossos achados que apontam a diminuição da X_{CO_2} neste mesmo mês, vale salientar que GPP e X_{CO_2} , apresentam comportamentos inverso, visto que a GPP representa a absorção de CO_2 pelos biomas.

6.2.2. Variabilidade temporal da SIF

O uso da SIF para compreender a dinâmica do carbono terrestre via sensoriamento remoto é estado da arte nesse campo da ciência (XIAO et al., 2019). Isso se dá por conta das informações funcionais de atividades fotossintéticas que a fluorescência da clorofila induzida pelo sol (SIF) (MOHAMMED et al., 2019). Dentro deste cenário, pesquisadores tem somado esforços para compreender a dinâmica do carbono em ecossistemas utilizando a SIF (MERRICK et al., 2019; GAO et al., 2020).

A variabilidade sazonal de SIF com NDVI e EVI fornece informações sobre o verde da vegetação, que pode estar ligado ao dossel interceptação de luz (CHHABRA e GOHEL, 2020). O EVI é um índice de vegetação baseado em refletância amplamente usado para indicar verdura relativa e inferir a função fotossintética (ROUSE et al., 1973). Entretanto, os índices de vegetação fornecem uma visão mais estática da atividade da vegetação quando comparados ao SIF derivado do sensoriamento remoto, já que sua

sensibilidade aos fatores ambientais é tanto quanto aquela da refletância do topo da copa.

Diversos estudos têm reportado correlações lineares positivas da SIF com EVI e NDVI (LI *et al.*, 2018; QIU *et al.*, 2020; WEI *et al.*, 2019) corroborando com o nossos resultados. Chhabra e Gohel, (2020), por exemplo, encontraram coeficientes de correlação de Pearson entre SIF757 derivado de OCO-2 e NDVI e EVI derivados do MODIS de 0,63 e 0,72, respectivamente. Utilizando dados de SIF do GOSAT, Frankenberg *et al.*, (2011) relataram padrões de fluorescência de planta conforme observado por GOSAT com GPP derivado de MODIS e SIF normalizado com índices de vegetação como NDVI, EVI e LAI. Diante disso, observa-se que dados provenientes do sensor MODIS, já amplamente utilizados na literatura (DE OLIVEIRA SOUZA *et al.*, 2018; ROSSI and SANTOS, 2020), são ferramentais essenciais para compreensão da dinâmica da SIF.

Nesse estudo a SIF também apresentou correlação com evapotranspiração e temperatura do ar, sendo a evapotranspiração a única variável que apresentou relação forte sob todos os ambientes estudados. De acordo com Maes *et al.*, (2020) a SIF está intimamente ligada à transpiração do ecossistema, eles chegaram a esse fato por terem observado que a relação entre SIF e fotossíntese (GPP) é controlada principalmente pelas propriedades bioquímicas da folha e estrutura da planta e a relação SIF-T (transpiração) parece amplamente determinada pela temperatura do ar e eficiência intrínseca do uso da água.

Gonsamo *et al.*, (2019) avaliando a sensibilidade da SIF a umidade do solo, também observaram relação positiva entre a SIF e a temperatura do ar. De acordo com esses autores, a temperatura e a duração do dia são os principais fatores limitantes do crescimento das plantas durante o início e o final da estação de crescimento em algumas latitudes, além disso, para terras áridas e cultivadas, o impacto da temperatura nas atividades fotossintéticas se manifesta por meio de umidade do solo e déficit de pressão de vapor, mostrando que a temperatura do ar também pode apresentar efeitos negativos quanto a fotossíntese. Correlação positiva entre a SIF e temperatura do ar para Mata Atlântica também foi observada por Merrick *et al.*, (2019), neste mesmo trabalho, os autores também não observaram essa relação para o bioma pantanal.

6.2.3. Variabilidade espacial

A elevação de dióxido de carbono na atmosfera do planeta está intimamente ligada com as ações antrópicas com a queima de combustíveis fósseis (HAKKARAINEN *et al.*, 2016), revolvimento do solo (FARHETE *et al.*, 2019), queimadas, práticas agrícolas como gessagem, calagem e várias mudanças do ambiente que alteram o ciclo do carbono favorecendo o aumento na atmosfera.

O estado do Mato Grosso do Sul é um grande produtor de soja no bioma Cerrado e um grande produtor também de eucalipto também no bioma do Cerrado, como o eucalipto possui ciclo de 5 a 7 anos (papel e celulose) e mais de 7 anos (madeira) para ser feito o corte torna-se difícil identificar o ano do corte e o ano de plantio feito pelas empresas e produtores locais do estado,

mas o período de plantio e crescimento o eucalipto sequestra muito carbono atmosférico e no período de derrubada o sequestro inverte e passa a emitir pois a palhada deixada na serapilheira acelera a decomposição com incidência solar direta e solo aberto, a decomposição acelerada os micro-organismos liberam metano e carbono para atmosfera (Gases de Efeito Estufa GEE) como resultado da degradação por isto a importância de conseguirmos definir as safras do eucalipto, apesar de várias ocorrerem de forma simultânea, para definir de forma bem concisa do ciclo do carbono, o plantio da soja se dá logo na primavera tendo rápido crescimento no período chuvoso favorecendo muito a fotossíntese e a redução do carbono atmosférico se dá no maior período vegetativo da cultura e a colheita da soja no estado ocorre no começo do período seco, sendo colhida a soja no período seco tendo impacto no X_{CO_2} , por ser colhidas nos meses de março e abril a atividade fotossintética do local reduz drasticamente e automaticamente altera o balanço de carbono atmosférico (HOLTZ, 2013), com a palhada deixada como restos culturais e a incidência de luz solar favorece o aumento da atividade microbiana e então a decomposição libera gases GEE.

No ano de 2015 tivemos uma grande redução do X_{CO_2} no período úmido, devido a grandes quantidades de chuvas ocorrido naquele período, sendo chamada de chuvas atípicas pelo CEMTEC (Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de Mato Grosso do Sul), no mês de Novembro de 2015 algumas cidades apresentaram cerca de 160% acima do histórico (CEMTEC, 2021) com isto podemos fazer um paralelo com os valores de X_{CO_2} serem menores pela grande quantia de sequestro de carbono pelas plantas e ficando estocadas em partes vegetativas (BARBOSA et al 2015) A quantidade de água

disponível elevada para a planta aumenta o seu crescimento e consequentemente um decréscimo de CO_2 na atmosfera (CHHABRA & GOHEL, 2019). Alguns estudos mostram que maquinário agrícola e a forma de revolvermos o solo tem impacto nas emissões de CO_2 (TAVARES et al, 2015).

O CO_2 tem ciclos de altos e baixos de acordo com as estações, no período chuvoso temos baixa concentração de CO_2 atmosférico e coincidem com altos índices de fotossíntese, já no período seco temos uma elevação do CO_2 atmosférico e uma redução dos índices de fotossíntese, assumindo assim um papel inverso entre as duas variáveis, esta variação acaba sendo reforçada neste estudo a variação sazonal de X_{CO_2} que ocorre é devido a atividade fotossintética que ocorre na vegetação, a fotossíntese é um processo que depende de água e radiação solar como descrito por Taiz et al (2009) e com isto temos os períodos chuvosos como um período que favorecem o sequestro de carbono atmosférico por ter uma taxa maior de incidência luminosa e maior incidência de chuvas na região estudada e o carbono sequestrado é transformado em Glicose e é incorporado nas partes vegetativas das plantas tornando componente orgânico das plantas e nos períodos secos temos o inverso ou seja uma redução da taxa de incidência luminosa e menor quantidade de chuvas na região o que acaba impactando na atmosfera com ciclo de carbono.

7. CONCLUSÃO

A macrorregião de eucalipto apresenta menor período (5 meses) de alta para X_{CO_2} em escala anual. Comportamento inverso é observado para a SIF

com relação a variação temporal. A Macrorregião de Eucalipto possui uma atividade fotossintética similar à da Mata Atlântica.

Quanto aos fatores que governam a variabilidade temporal da X_{CO_2} , a SIF771 em conjunto com o NDVI e EVI foram as variáveis que melhor representaram uma dependência neste processo. Todas as variáveis que governam a variabilidade temporal da X_{CO_2} apresentam relação inversa. Essas observações foram observadas em todos os biomas e na macrorregião produtora de eucalipto. Desse modo, podemos observar que a atividade fotossintética para essa região apresenta papel fundamental na absorção do carbono atmosférico.

O único fator de controle que governa a variabilidade temporal da SIF para todas as áreas de estudo é a evapotranspiração, entretanto, o NDVI, EVI e temperatura do ar também apresentam correlação com a SIF, mas não em todos os biomas. Todas essas variáveis apresentam relações positivas com a SIF. Diante disso, é fácil observar a complexidade comportamento da vegetação com relação a sua sensibilidade aos fatores bióticos e abióticos presentes em cada ecossistema. A compreensão de tais relações são essenciais na busca de sumidouros de carbono.

8. REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Aline Damasceno et al. ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA. *FLORESTA*, [S.l.], v. 48, n. 2, p. 183-194, abr. 2018. ISSN 1982-4688. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/54447/35165>>. Acesso em: 16 ago. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i2.54447>
- BARBOSA h.A.; Lakshmi Kumar, T.V. & Silva., 2015. L.R.M. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. **Nat Hazards** 77, 883– 899. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1635-8>
- CASTRO, A. O.; CHEN, J.; ZANG, C. S.; SHEKHAR, A.; JIMENEZ, J.C.; BHATTACHARJEE, S.; KINDU, M.; MORALES, V.H.; RUNNING, A.; OCO-2 solar-induced chlorophyll fluorescence variability across ecoregions of the Amazon basin and the extreme drought effects of El Nino (2015-2016, **Remote Sensing** 12, 2020.
- CEMTEC, 2021, Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul, acessado em http://www.cemtec.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/CHUVAS-MS_NOVEMBRO20151.pdf
- CERRI, C. E. P., SPAROVEK, G., BERNOUX, M., EASTERLING, W. E., MELILLO, J. M., & CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.
- CHABOISSIER, M.C. et al., 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, **ACM National Conference**, pp. 517-524.
- CHHABRA A, Gohel A. Dynamics of atmospheric carbon dioxide over different land cover types in India. **Environ Monit Assess** 2019;191. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7681-z>.
- CHHABRA A, Gohel A. Elucidating space based observations of solar induced chlorophyll fluorescence over terrestrial vegetation of India. **Trop Ecol** 2020;61:32–41. <https://doi.org/10.1007/s42965-020-00074-w>.
- CIESLA, W.M.; MBUGUA, D.K. & WARD, J.D. Ensuring forest health and productivity: A perspective from Kenya. *J. For.*, 93:36-39, 1995.
- CRISP, D et al, The on-orbit performance of the orbiting carbon observatory-2

- (OCO-2) instrument and its radiometrically calibrated product. **Atmos. Meas. Tech.** 10, 2017.
- DAWSON TE, Pate JS. 10.1007-BF00582230.pdf 1996:13–20.
- DE ARAÚJO SANTOS GA, Moitinho MR, de Oliveira Silva B, Xavier CV, Teixeira DDB, Corá JE, et al. Effects of long-term no-tillage systems with different succession cropping strategies on the variation of soil CO₂ emission. **Sci Total Environ** 2019;686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.398>.
- DE OLIVEIRA SOUZA TC, Delgado RC, Magistrali IC, dos Santos GL, de Carvalho DC, Teodoro PE, et al. Spectral trend of vegetation with rainfall in events of El Niño-Southern Oscillation for Atlantic Forest biome, Brazil. **Environ Monit Assess** 2018;190. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7060-1>.
- FALAHATKAR, S., Mousavi, S.M. & Farajzadeh, M., 2017 Spatial and temporal distribution of carbon dioxide gas using GOSAT data over IRAN. **Environ Monit Assess** 189, 627. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6285-8>
- FARHATE, C. V. V, De Souza, Z. M, La Scala, N., De Sousa, A. C. M., Santos, A. P. G., Carvalho, J. L. N., 2019 Soil tillage and cover crop on soil CO₂ emissions from sugarcane fields. **Soil Use Manage.** 35: 273– 282. <https://doi.org/10.1111/sum.12479>
- FELFILLI, Jeanine Maria, “Manual para monitoramento de parcelas permanentes nos biomas cerrado e Pantanal, Brasília, Universidade de Brasília, 2005. Acessado < https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Haidar/publication/267833419_MANUAL_PARA_O_MONITORAMENTO_DE_PARCELAS_PERMANENTES_NOS_BIOMAS_CERRADO_E_PANTANAL/links/54d3a9380cf2b0c6146ded6f/MANUAL-PARA-O-MONITORAMENTO-DE-PARCELAS-PERMANENTES-NOS-BIOMAS-CERRADO-E-PANTANAL.pdf>
- FRANKENBERG C, Fisher JB, Worden J, Badgley G, Saatchi SS, Lee JE, et al. New global observations of the terrestrial carbon cycle from GOSAT: Patterns of plant fluorescence with gross primary productivity. **Geophys Res Lett** 2011;38:1–6. <https://doi.org/10.1029/2011GL048738>.
- FRANKENBERG, C., FISHER, J. B., WORDEN, J., BADGLEY, G., SAATCHI, S. S., LEE, J. E., ... & YOKOTA, T. New global observations of the terrestrial carbon cycle from GOSAT: Patterns of plant fluorescence with gross primary productivity. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 17, p. 1–6, 2011.

GAO Y, Wang S, Guan K, Wolanin A, You L, Ju W, et al. The ability of sun-induced chlorophyll fluorescence from OCO-2 and MODIS-EVI to monitor spatial variations of soybean and maize yields in the midwestern USA. **Remote Sens** 2020;12. <https://doi.org/10.3390/rs120711111>.

GHANNOUM, O., PHILLIPS, N.G., CONROY, J.P., SMITH, R.A., ATTARD, R.D., WOODFIELD, R., LOGAN, B.A., LEWIS, J.D. and TISSUE, D.T. Exposure to preindustrial, current and future atmospheric CO₂ and temperature differentially affects growth and photosynthesis in *Eucalyptus*. **Global Change Biology**, 16: 303-319, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02003.x>

GOLKAR F, Al-Wardy M, Saffari SF, Al-Aufi K, Al-Rawas G. Using OCO-2 satellite data for investigating the variability of atmospheric CO₂ concentration in relationship with precipitation, relative humidity, and vegetation over Oman. **Water** (Switzerland) 2020;12. <https://doi.org/10.3390/w12010101>.

GONSAMO A, Chen JM, He L, Sun Y, Rogers C, Liu J. Exploring SMAP and OCO-2 observations to monitor soil moisture control on photosynthetic activity of global drylands and croplands. **Remote Sens Environ** 2019;232:111314. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111314>

HAKKARAINEN, J., Ialongo, I., and Tamminen, J., 2016. Direct space-based observations of anthropogenic CO₂ emission areas from OCO-2, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,400– 11,406, <https://doi.org/10.1002/2016GL070885>

HUETE et al A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS **Remote Sensing of Environment**, 1997

HUETE et al, Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring, **Remote Sensing of Environment**, 2000.

HUETE, Alfredo R. Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring. **Geography Compass**, v. 6, n. 9, p. 513-532, 2012.

HOLTZ, Vandoir; REIS, Elton Fialho dos. Perdas na colheita mecanizada de soja: uma análise quantitativa e qualitativa. **Rev. Ceres**, Viçosa , v. 60, n. 3, p. 347-353, June 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2013000300007&lng=en&nrm=iso>. access on 05 Mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300007>.

IBGE. 2019. SIDRA–Sistema IBGE de Recuperação Automática. Inst. Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.sidra.ibge.gov.br> (accessed 2

- Apr. 2019).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Land use, land use change and forestry special report, Summary for policymakers. Montreal, 2000..
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.
- JACOVINE, L.A.G.; NISHI, M.H.; SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R. & ALVARENGA, A.P. A seringueira no contexto das negociações sobre mudanças climáticas globais. In: ALVARENGA, A.P. & CARMO, C.A.F.S. Sequestro de carbono: Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG, EPAMIG, 2006. p.1-41
- KÖHLER, P., GUANTER, L., KOBAYASHI, H., WALTHER, S., & YANG, W.. Assessing the potential of sun-induced fluorescence and the canopy scattering coefficient to track large-scale vegetation dynamics in Amazon forests. *Remote Sensing of Environment*, v. 204, n. October 2017, p. 769–785, 2018.
- LE MAITRE DC, Van Wilgen BW, Gelderblom CM, Bailey C, Chapman RA, Nel JA. Invasive alien trees and water resources in South Africa: Case studies of the costs and benefits of management. *For Ecol Manage* 2002;160:143–59. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00474-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00474-1).
- LE QUÉRE C, Raupach MR, Canadell JG, Marland G, Bopp L, Ciais P, et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nat Geosci** 2009;2:831–6. <https://doi.org/10.1038/ngeo689>.
- LEHNINGER, Princípios da Bioquímica, Nelson, David L. – Cox, Michael 6ª ed, 2014.
- LI X, Xiao J, He B. Chlorophyll fluorescence observed by OCO-2 is strongly related to gross primary productivity estimated from flux towers in temperate forests. **Remote Sens Environ** 2018;204:659–71. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.034>.
- LUDLOW, M. M, Adaptive significance of stomatal responses to water stress. **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York, 1980.
- MAES WH, Pagán BR, Martens B, Gentine P, Guanter L, Steppe K, et al. Remote Sensing of Environment Sun-induced fluorescence closely linked to

ecosystem transpiration as evidenced by satellite data and radiative transfer models. **Remote Sens Environ** 2020;249:112030.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112030>.

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W. H.; NOBRE, C. A.. Climate change, deforestation, and the fate of Amazon, *Science* 319, 169-172; 2008.

MERRICK T, Pau S, Jorge MLSP, Silva TSF, Bennartz R. Spatiotemporal patterns and phenology of tropical vegetation solar-induced chlorophyll fluorescence across brazilian biomes using satellite observations. **Remote Sens** 2019;11. <https://doi.org/10.3390/rs11151746>.

MOHAMMED GH, Colombo R, Middleton EM, Rascher U, van der Tol C, Nedbal L, et al. Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) in vegetation: 50 years of progress. **Remote Sens Environ** 2019;231:111177. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.030>.

MOUSAVI SM, Falahatkar S, Farajzadeh M. Assessment of seasonal variations of carbon dioxide concentration in Iran using GOSAT data. *Nat Resour Forum* 2017;41:83–91. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12121>.

MYBURG, A. A. et al. The genome of *Eucalyptus grandis*. *Nature*. v. 510, ed. 7505, p. 356–362. 2014.

NOBRE, Carlos A.; NOBRE Antônio A. O balanço de Carbono da Amazônia Brasileira, **Estudos Avançados** 16,2002.

PACHECO, Maria Raquel Pereira dos Santos; HELENE, Maria Elisa Marcondes, Atmosfera, fluxo de carbon e fertilização por CO₂, **Estudos Avançados**, 2006.

QIU R, Han G, Ma X, Sha Z, Shi T, Xu H, et al. CO₂ concentration, a critical factor influencing the relationship between solar-induced chlorophyll fluorescence and gross primary productivity. **Remote Sens** 2020;12. <https://doi.org/10.3390/RS12091377>.

RICHARD A, Pekka E, Werner A, Oliver L, Simon L, Josep G, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* (80-) 2011;333:988–93.

ROCHA JHT, Menegale MLC, Rodrigues M, Gonçalves JL de M, Pavinato PS, Foltran EC, et al. Impacts of timber harvest intensity and P fertilizer application on soil P fractions. *For Ecol Manage* 2019;437:295–303.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.051>.

ROSSI FS, SANTOS GA de A. Fire dynamics in Mato Grosso State, Brazil: the relative roles of gross primary productivity. *Big Earth Data* 2020;4:23–44. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1706832>.

ROUSE JR, John W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. 1973.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO. J. C.; ZANUNCIO T. V.; PIRES, E. M. Pragas do Eucalipto, Informe Agropecuário, Belo Horizonte jan/fev 2008. <[https://www.researchgate.net/profile/Evaldo-](https://www.researchgate.net/profile/Evaldo-Pires/publication/306259254_Pragas_do_eucalipto/links/57c2ed0b08ae2f5eb3395ed9/Pragas-do-eucalipto.pdf)

Pires/publication/306259254_Pragas_do_eucalipto/links/57c2ed0b08ae2f5eb3395ed9/Pragas-do-eucalipto.pdf>.

SANTOS MV, da Fonseca DM, da Silva LD, de Souza WF, de Oliveira TS, Ferreira LR, et al. Integrated crop–forage–forestry for sustainable agricultural systems: productive performance. **Agrofor Syst** 2020;94:417–27. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00404-5>.

SCHNEIDER, S.; SARUKHAN, J.; ADEJUWON, J.; AZAR, C.; BAETHGEN, W.; HOPE, C.; MOSS, R.; LEARY, N.; RICHEL, R.; YPERSELE, J. VAN. OVERVIEW OF IMPACTS, ADAPTATION, AND VULNERABILITY TO CLIMATE CHANGE. IN: MCCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. (Eds.). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 75–103.

SCHWANDNER, FLORIAN M., MICHAEL R. GUNSON, CHARLES E. MILLER, SIMON A. CARN, ANNMARIE ELDERING, THOMAS KRINGS, KRISTAL R. VERHULST et al. "Spaceborne detection of localized carbon dioxide sources." **Science** 358, no. 6360, 2017.

SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY 2019, The Keeling curve. <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/> (Accessed 15 May, 2019).

SHEKHAR, A.; BHATTACHARJEE S.; CHEN, J.; RAMING A. Spring-summer variation analysis in OCO-2's solar induced fluorescence during European heatwave in 2018; **Geophys Res. Abstr**, 2018

SUN, Y et al, OCO-2 advances photosynthesis observation from space via solar-induced chlorophyll fluorescence, **Science** 358, 2017.

TAVARES, R. L. M. et al., 2015. Soil CO₂ emission in sugarcane management

systems. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Section B — Soil & Plant Science, v. 65, n. 8, p. 755–762, 2015. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1061048>

TAIZ, L.; ZEIGER, E., 2009. Fisiologia Vegetal. 4 ed. Porto Alegre: Editora Artmed.

TOLEDO, J. J, Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra firme na Amazônia Central, Manaus, 2009.

VARMOLA MI, CARLE JB The importance of hardwood plantations in the tropics and sub-tropics. **International Forestry Review**, 4, 110–121. 2002.

WANG J, Zeng N, Wang M. Interannual variability of the atmospheric CO₂ growth rate: Roles of precipitation and temperature. **Biogeosciences** 2016;13:2339–52. <https://doi.org/10.5194/bg-13-2339-2016>.

WATZLAWICK, LUCIANO FARINHA; KIRCHNER, FLÁVIO FELIPE; SANQUETTA, CARLOS ROBERTO. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II.. **Ciência Florestal**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 169-181, jun. 2009. ISSN 1980-5098. Disponível doi:<http://dx.doi.org/10.5902/19805098408>.

WEI J, Tang X, Gu Q, Wang M, Ma M, Han X. Using solar-induced chlorophyll fluorescence observed by OCO-2 to predict autumn crop production in China. **Remote Sens** 2019;11:1–14. <https://doi.org/10.3390/rs11141715>.

WHITEHEAD D, Beadle CL. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: A review. **For Ecol Manage** 2004;193:113–40. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.026>.

XIAO J, Chevallier F, Gomez C, Guanter L, Hicke JA, Huete AR, et al. Remote sensing of the terrestrial carbon cycle: A review of advances over 50 years. **Remote Sens Environ** 2019;233:111383. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111383>.

YU Z, Zhou G, Liu S, Sun P, Agathokleous E. Impacts of forest management intensity on carbon accumulation of China's forest plantations. **For Ecol Manage** 2020;472:118252. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118252>.

ZAÚ, André Scarambone. Fragmentação da Mata Atlântica: aspectos teóricos. **Floresta e ambiente**, v. 5, n. 1, p. 160-170, 1998.