

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DIEGO SCHMITT DE SOUZA

**RELAÇÃO ENTRE O EVI 2, PRECIPITAÇÃO E PRODUÇÃO MÉDIA
DE SOJA NO MUNICÍPIO DE RENASCENÇA – PR**

PATO BRANCO

2022

DIEGO SCHMITT DE SOUZA

**RELAÇÃO ENTRE O EVI 2, PRECIPITAÇÃO E PRODUÇÃO MÉDIA
DE SOJA NO MUNICÍPIO DE RENASCENÇA – PR**

**Relationship between EVI 2, precipitation and average soy
production in the municipality of Renascença – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Agronomia do Curso de
Agronomia da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientador: Henrique dos Santos Felipetto

Coorientador: Douglas Stefanello Facco

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DIEGO SCHMITT DE SOUZA

**RELAÇÃO ENTRE O EVI 2, PRECIPITAÇÃO E PRODUÇÃO MÉDIA
DE SOJA NO MUNICÍPIO DE RENASCENÇA – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia do Curso de Agronomia do *Campus* Pato Branco da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 13/junho/2022

Henrique dos Santos Felipetto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Douglas Stefanello Facco
Mestrado
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de pós Graduação em Sensoriamento Remoto,
Campus do Vale - Porto Alegre - RS

Adão Robson Elias
Doutorado
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PATO BRANCO

2022

Dedico aos meus pais e minha esposa pelo apoio e incentivo que sempre me proporcionaram, foram fundamentais para a concretização do meu sonho. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, minha saúde, e oportunidade de lutar para alcançar meus sonhos.

Agradeço ao meu pai Arceli Schmitt de Souza, minha mãe Vera Rosane Santos Bello, minha irmã Eduarda Schmitt de Souza e minha esposa Katia Regina Karpinski, que em momento algum me deixou desistir do meu sonho e não mediu esforços para me ajudar a conquistar ele, jamais conseguirei retribuir tudo que eles fizeram por mim, espero que eu possa dar muito orgulho, assim como tenho orgulho de vocês.

Também ao meu orientador professor Henrique dos Santos Felipetto e Douglas Stefanello Facco por toda ajuda que me deu durante a graduação, por toda ajuda e conhecimento repassado para que eu pudesse elaborar este trabalho, obrigado por me transmitir calma e ter paciência comigo!

Aos meus amigos e companheiros de sala de aula que sempre estiveram comigo, pela parceria que se formou durante toda a jornada acadêmica, tenho certeza que estão guardados dentro do meu coração.

Por fim queria dizer que sou extremamente grata por todas as pessoas que passaram pelo meu caminho, experiencias que tive, seja elas boas ou ruins, tudo isso me fez ser a pessoa que sou hoje, mais madura, dedicada e persistente para alcançar meus objetivos.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a beleza libertadora do intelecto para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.”

Albert Einstein.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre o índice espectral de qualidade da vegetação - EVI2 e dados de precipitação, com a produção de soja nos meses de janeiro entre os anos de 2000 a 2017 no município de Renascença – PR. A área de estudo está situada no sudoeste do estado do Paraná. O clima é classificado como subtropical úmido do tipo Cfa. No verão apresenta temperaturas superiores a 22°C. O solo da região é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico, com textura muito argilosa e relevo suave ondulado. Os dados de produtividade da cultura da soja para a primeira safra, foram adquiridos pelas publicações do Deral nos períodos de 2005 a 2016. Utilizou-se dados de uma série de imagens EVI2 de janeiro de 2001 a janeiro de 2017, geradas a partir de dados MODIS disponibilizada pela ferramenta online Series View e de dados de precipitação pluvial acumulada mensal do TRMM. Os dados observados foram organizados e tratados em planilhas do software Microsoft Office Excel. As relações entre o EVI2 e as precipitações pluviométricas ocorridas na área de estudo foram mais significativas para os anos de 2001 a 2017. Os índices EVI2 apresentaram ao longo da série temporal picos irregulares, que estão associados a variação das chuvas em janeiro. Os valores dos índices de EVI2 ficaram maior parte do tempo acima de 0,60, devido ao acumulado de chuvas nos meses de janeiro. Períodos de deficiência hídrica vistos em alguns anos, demonstrados pelo balanço hídrico, mostram oscilações no perfil temporal dos EVI2 ao longo do estudo. Safras de soja onde não ocorreu períodos de deficiência hídrica, tendem a apresentar perfis de EVI2 mais contínuos. Houve baixa relação entre os dados de EVI2 e produtividade da soja. Não há relação entre o índice vegetativo com a produtividade. As maiores produtividades da soja foram quanto observadas os picos do EVI2.

Palavras-chave: Índice Vegetativo; Produtividade da Soja; Sensoriamento remoto, Sensores orbitais.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the relationship between the spectral index of vegetation quality (EVI2) and precipitation data with soybean production in the months of January between the years 2000 and 2017 in the municipality of Renascença, PR. The study area is located in the southwest of the state of Paraná. The climate is classified as Cfa (humid subtropical). In summer, it has temperatures above 22°C. The soil of the region is characterized as a typical Dystroferric Red Latosol, with a very clayey texture and smooth wavy relief. Soybean yield data for the first crop was acquired by Deral publications from 2005 to 2016. Data from a series of EVI2 images from January 2001 to January 2017, generated from data provided by MODIS and monthly accumulated rainfall data from TRMM. The observed data was organized and treated in Microsoft Office Excel spreadsheets. The relationships between EVI2 and rainfall in the study area were more significant for the years 2001 to 2017. The EVI2 indices showed irregular peaks throughout the time series, which are associated with rainfall variation in January. The values of the EVI2 indexes were above 0.60 most of the time, due to the accumulated rainfall in January. Periods of water deficit seen in some years, demonstrated by the water balance, show oscillations in the temporal profile of EVI2 throughout the study. Soybean crops where there were no periods of water deficit tend to have more continuous EVI2 profiles. There was a low relationship between EVI2 data and soybean yield. There is no relationship between the vegetative index and productivity. The highest soybean yields were observed when the EVI2 peaks were observed.

Keywords: Vegetative Index; Soy Productivity; Remote sensing, Orbital sensors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação do espectro eletromagnético. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	18
Figura 2 – Localização geográfica do município de Renascença – PR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	23
Figura 3 – Dados de EVI e TRMM no município de Renascença – PR entre os anos de 2001 e 2017. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	24
Figura 4 – Localização geográfica (26° 88'S e 52° 88'O) de um pixel estudado no município de Renascença – PR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	25
Figura 5 – Relação entre EVI2 e precipitação dos meses de janeiro de 2001 a 2017. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	27
Figura 6 – Média de precipitação dos meses de janeiro de 2001 a 2017 e EVI2. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	29
Figura 7 - Relação entre EVI2 e produtividade da soja nos meses de janeiro de 2005 a 2016. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	30
Figura 8 -- Média de produtividade da soja nos meses de janeiro de 2005 a 2016 e EVI2. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARVI	Atmospherically Resistant Vegetation Index
Cfa	C lima temperado, com verão ameno
cm	Centímetros
Deral	Departamento de Economia Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	Enhanced Vegetation Index
EVI2	Enhanced Vegetation Index 2
g	Gramas
ha	Hectare
Hz	Hertz
IVs	Índices de Vegetação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
kg	Quilograma
km	Quilômetro
mm	Milímetros
MODIS	MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
Nir	Near Infraed
nm	Nanômetro
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
°C	Graus Celcius
PR	Paraná
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
seg	Segundos
SatVeg	Sistema de Análise Temporal da Vegetação
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Geral.....	14
2.2	Específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	A cultura da soja.....	15
3.2	Exigência hídrica da soja.....	16
3.3	Sensoriamento remoto.....	17
3.4	Sensores orbitais.....	19
3.5	Sensor MODIS e TRMM.....	20
3.6	Índice de vegetação EVI2 MODIS.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1	Área de estudo.....	23
4.2	Aquisição de dados.....	24
4.2.1	Dados de produtividade.....	24
4.2.2	Dados de EVI2 e precipitação.....	24
4.3	Estatística dos dados.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1	Relação entre o EVI2 e precipitação.....	27
5.2	Relação entre EVI2 e produtividade.....	29
6	CONCLUSÕES.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da soja (*Glycine max*) é uma das atividades econômicas que tem apresentado notável crescimento nas últimas décadas. Essa cultura apresenta grande importância por ser uma rica fonte de proteína vegetal, especialmente para atender as demandas crescentes dos setores que realizam a produção de produtos de origem animal e vegetal, geração e oferta de tecnologias que viabilizaram a expansão da exploração de mercado para diversas regiões do mundo (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

O Brasil se destaca como o maior produtor de soja do mundo, com produção total de 137.320 milhões de toneladas de grãos, contando com 38.925,5 milhões de hectares cultivados e com uma produção média de 3.528 kg ha⁻¹. O estado do Paraná atualmente é o terceiro maior produtor da oleaginosa, com cerca de 19,872 milhões de toneladas, correspondendo a mais de 17% da totalidade produzida no país, contempla também a segunda maior média de produtividade com 3.537 kg ha⁻¹, perdendo apenas para Goiás (CONAB, 2017a).

Com a soja em evidência, a expansão das fronteiras agrícolas e a demanda cada vez maior pela produção do grão, é notável a intensificação da monocultura e também práticas de manejo inadequadas, fatores estes que podem comprometer a produtividade. Para diminuir estes problemas e atender à demanda do mercado, se faz necessário o uso de estratégias buscando aumento do rendimento das culturas (BOTELHO, 2014).

A prioridade de uma lavoura é o seu rendimento, e para elevar a produtividade de uma lavoura, gradativamente investe-se em tecnologias para o agricultor melhorar o seu sistema de produção (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2007). Uma das formas de trazer melhorias aos sistemas de produção é empregando tecnologias como o sensoriamento remoto, que é um composto de operações que permite obter informações de componentes da superfície terrestre sem a exigência de estar presente no local (FLORENZANO, 2008).

A utilização de imagens de satélite tem se mostrado muito importante devido a periodicidades das imagens que abrange grandes áreas da superfície terrestre. Com essa tecnologia há a possibilidade de monitoramento de alterações da vegetação ao longo do espaço e do tempo, desenvolvendo análises de séries

temporais de índices de vegetação (IVs), no qual auxiliam na apuração de padrões e de mudanças associadas a ações humanas e naturais (KUPLICH; MOREIRA; FONTANA, 2013).

De modo a exemplificar os produtos orbitais que cumprem a exigência de frequência e área imageada, tem-se os do sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*), acoplado nos satélites Terra e Aqua, voltado a estudos dos ecossistemas terrestres. Dados obtidos pelo sensor MODIS possibilitam determinar o grau de correlação entre dados de precipitação e índices de qualidade da vegetação mensal com a produção de soja (ROSSI, 2020).

A plataforma *Series View* é um portal online que fornece uma ferramenta para visualizar séries temporais de imagens de sensoriamento remoto. Essa ferramenta foi criada dentro do conceito de um Laboratório Virtual de Sensoriamento Remoto (FREITAS *et al.*, 2011) para auxiliar nos estudos e análises de mudanças no uso e cobertura da Terra. Desde o ano 2000, a série temporal EVI2-MODIS e a acumulação mensal de precipitação TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) estão disponíveis para quaisquer coordenadas geográficas na América do Sul. As séries estão vinculadas aos recursos do globo virtual do Google Maps (YAMAMOTO *et al.*, 2017).

No verão, principalmente em janeiro encontramos os maiores índices de fotoperíodo e também a muitas lavouras em média em estádios fenológico R5 (NEUMAIER *et al.*, 2000), o que proporcionando melhor estudo e relação do IVs. Sendo a soja, a cultura de maior importância econômica para o município de Renascença - PR e a precipitação pluviométrica ser um dos principais fatores que influenciam na produtividade, propomos avaliar a relação entre o índice espectral de qualidade da vegetação - EVI2 e dados de precipitação, com a produção de soja nos meses de janeiro entre os anos de 2000 a 2020 no município de Renascença - PR.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a relação entre o índice espectral de qualidade da vegetação - EVI2 e dados de precipitação, com a produção de soja nos meses de janeiro entre os anos de 2001 a 2017 no município de Renascença - PR.

2.2 Específicos

Analisar a série temporal do índice espectral EVI2 com a precipitação para o município de Renascença – PR fornecida no programa *Series View*, e averiguar a relação estatística entre o EVI2 e a precipitação acumulada nos meses de janeiro de 2001 a 2017.

Analisar a série temporal do índice espectral EVI2 com a produtividade para o município de Renascença – PR e averiguar a relação estatística entre o EVI2 e produção nos meses de janeiro de 2005 a 2016.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa originária do continente asiático e que foi difundida pelo mundo todo. Seus registros datam de mais de cinco mil anos, podendo ser uma das primeiras culturas a ser dominada pelo homem. Difundiu-se pela Europa nos séculos XV e XVI, chegando ao ocidente por meio das expedições. No entanto, foi apenas a partir de 1880 que se tornou um grão de produção potencial, pois começou a ser vista como um produto de alto teor proteico e com atributos favoráveis ao uso na alimentação de humanos e animais (CÂMARA, 2015).

A soja é uma planta herbácea, pertencente à família Fabaceae, ou seja, a família de plantas leguminosas. De forma geral, as plantas de soja apresentam um caule com outras ramificações laterais, raiz pivotante, folhas trifoliadas, flores autógamas com desenvolvimento de vagens arqueadas e sementes lisas e globosas. A estatura dessas plantas apresenta variação de 60 até 110 cm de altura, podendo apresentar variações de ciclo conforme as condições ambientais do local de cultivo, sendo que podem ser classificadas quanto ao período de cultivo como: semiprecoce, médio e semitardio (FARIAS *et al.*, 2007).

A produção da soja vem se destacando mundialmente nas últimas décadas. O que pode ser explicado por alguns fatores como, melhoria de mercado, estruturação do mercado internacional em relação ao comércio do grão, aumento do consumo da soja como fonte de proteína, não somente como fornecedora de óleo, expansão das tecnologias de produção, incentivos agrícolas e políticas públicas para sua exploração e cultivo e principalmente, a colheita automatizada e mecanizada (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

A soja é considerada nos dias atuais, a principal *commodity* de produção no país, sendo responsável pelo desenvolvimento da economia e da sociedade em várias regiões brasileiras. Destaca-se como produtor desses grãos o estado do Mato Grosso, atingido 35,8 toneladas de grãos produzidos na safra 2019/20. No entanto, os estados da região Sul (Rio Grande do Sul e Paraná) também são importantes produtores, com safras expressivas há anos consecutivos, somando 32,9 toneladas produzidas no mesmo período (EMBRAPA, 2021).

Entre os anos de 2003 a 2013 o consumo da soja aumentou em 57% no mundo, perdendo somente para milho, trigo e arroz. Esse consumo vem crescendo, devido a padronização de sua produção e sua composição, pois apresenta teores importantes de proteína e elevado teor de óleo. Outro fator importante em relação ao aumento de sua produção, é que essa cultura apresenta alta resistência a intempéries ambientais e baixas exigências durante o cultivo, quando comparada a outras culturas (GONÇALVES; YADA, 2019).

A soja é de fundamental importância, além da utilização para extração de subprodutos para alimentação humana, a soja é destinada para produção animal com realização de silagem, farelo, soja torrada, entre outros alimentos que serve como base para uma dieta animal. Devido ser uma das principais fontes de proteína na dieta de monogástricos e ruminantes. A importância da soja se deve pelo rico teor proteico 370 g kg⁻¹ de proteína bruta no grão, energia bruta de 5.155 kcal kg⁻¹ e de óleo (20%) (CÂMARA, 2012; EMBRAPA, 2013).

Em função disso, a produção de soja continuará a crescer, acarretando uma expansão do uso da terra, uma vez que, a cultura ocupará espaços que hoje são destinados a pastagens, onde um terço do aumento das áreas colhidas venha de colheitas duplas, ou seja, cultivo sobre cultivo (FAO, 2019).

3.2 Exigência hídrica da soja

Com o passar das décadas, observa-se o aumento da necessidade de conhecimento técnico e introdução de novas tecnologias, atrelando diversos fatores que devem ser contabilizados desde o momento da escolha da semente até mesmo a época de plantio e colheita, como a venda do produto final. Diferentes fatores e manejos influenciam diretamente a qualidade dos grãos e a produtividade final da cultura da soja (SANTOS *et al.*, 2018)

Existem vários fatores que afetam o rendimento da cultura de soja, como déficit hídrico, temperaturas elevadas e radiação solar. Exigência hídrica e temperatura tem influência direta no aspecto produtivo da soja, o que as torna extremamente sensível a irregularidades do ambiente, afetando desenvolvimento da planta, qualidade e quantidade dos grãos, mas há certas formas de manejo que podem ajudar a diminuir estes prejuízos (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

Assim como outras plantas a água é essencial para todos os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, na soja ela tem grande importância principalmente em duas épocas, a fase de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos. Nos períodos iniciais o excesso de água assim como o déficit pode ser prejudicial à cultura já que a semente precisa absorver água para poder germinar, neste caso ela deve absorver no mínimo 50% de seu peso em água para ter uma boa germinação e não deve extrapolar a 85% do total máximo de água disponível (FARIAS *et al.*, 2007).

De acordo com Farias *et. al* (2007), conforme o desenvolvimento da soja vai aumentando a exigência hídrica acompanha esse crescimento apenas decaindo após a floração e enchimento de grãos. A cultura da soja tem necessidade de 450 mm a 850 mm de água para obter uma produção considerável (CARVALHO *et al.*, 2013). Gava (2014) complementa que a planta mais necessita de água na fase da floração e de enchimento de grão, necessitando de 7 mm a 8 mm dia⁻¹, ocorrendo estresse hídrico nesta fase, há queda de produção com perda das folhas prematuramente, o que não pode ser compensada pelas outras folhas.

Mundstock e Thomas (2005) afirmam que se houver déficit hídrico no início do desenvolvimento da cultura, ocorrerá uma diminuição na emissão de novos ramos, diminuindo assim o número de nós. Sendo assim, havendo uma boa disponibilidade hídrica, após o período de florescimento, a planta pode se recuperar parcialmente, emitindo um maior número de flores por nó, que irão se transformar em vagens, mas peca em sustentação no enchimento de grãos, pela falta de novas folhas.

Quando submetida a estresse hídrico, em períodos de florescimento e enchimento de grãos, podem haver modificações na fisiologia vegetal, como exemplos, o fechamento estomático e encarquilhamento das folhas, resultando na queda de folhas e estruturas reprodutivas, afetando diretamente na produtividade (EMBRAPA, 2013).

3.3 Sensoriamento remoto

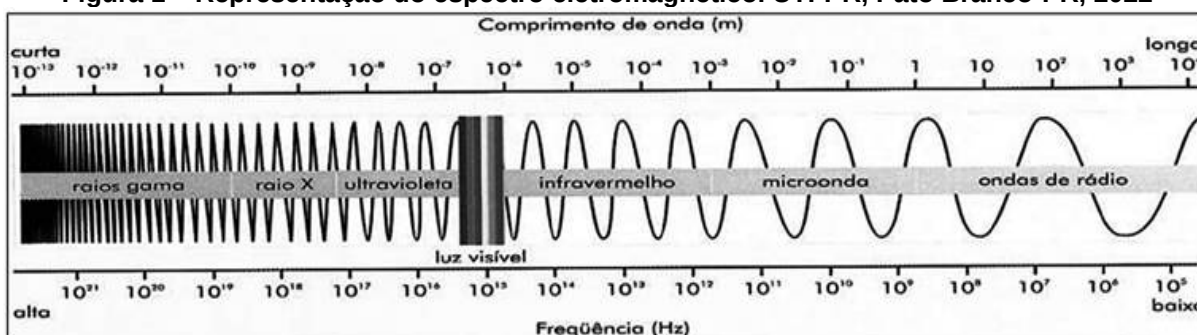
O sensoriamento remoto pode ser definido como o apanhado de atividades, que serão capazes de gerar informações da superfície terrestre, sem a necessidade

da interação com os mesmos (FLORENZANO, 2008). As atividades relacionadas ao sensoriamento remoto necessitam de uma fonte de energia, nesse caso, radiação eletromagnética, sendo a mais comum a energia solar para os sensores passivos que não possuem fonte própria de energia (NOVO, 2010).

As fontes de energia se dividem em naturais (energia solar) e artificiais (flash ou sinal de radar). A radiação emitida pelo sol propaga-se à velocidade da luz ($300.000 \text{ km seg}^{-1}$) e pode ser medida em frequência de hertz (Hz) e comprimento por unidade e subunidade de metro (m). Pode-se considerar que a detecção das interações entre a radiação eletromagnética e os alvos da superfície terrestre é o princípio básico de toda tecnologia do sensoriamento remoto (WENG, 2019).

O espectro eletromagnético é uma divisão didática da distribuição da radiação eletromagnética pelas distintas regiões, organizado de acordo com o comprimento de onda e frequência de onda. Na Figura 1 verifica-se, da esquerda para a direita, que as ondas de alta frequência são de comprimento curto, ao passo que as ondas de baixa frequência são de comprimento longo. Fica claro que a frequência de onda, maior ou menor, é relativa ao número de repetições desta por unidade de tempo, ao passo que comprimento de onda é a distância entre os picos (MOREIRA, 2011; WENG, 2019).

Figura 1 – Representação do espectro eletromagnético. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: Florenzano, 2002.

Considerando que toda matéria é constituída de átomos, entende-se que ao atingir o objeto a energia eletromagnética é, inicialmente, absorvida, o que causa reações nos seus elétrons, os quais ficam em condição de excitação e retornam ao estado original. Durante este processo é gerado um quantum, ou fóton, de energia que é registrado pelo sistema sensor, o que permite a geração da imagem

(EASTMAN *et al.*, 2013; NOVO, 2010).

Após a obtenção das imagens dos produtos de sensoriamento remoto (aéreos ou orbitais), Ferreira e Filho (2009) elenca as etapas essenciais para a elaboração de mapas de utilização da terra: definição da escala do mapa, definição de elementos que permitam a identificação do uso da terra nas imagens e elaboração da classificação do uso e cobertura da terra.

3.4 Sensores orbitais

Os sensores orbitais são sistemas que exploram as características de uma plataforma embarcada em uma órbita que deve ser circular para garantir que as imagens tomadas em diferentes regiões da Terra tenham a mesma resolução e escala, assim permitindo o imageamento cíclico da superfície para que se possa garantir a observação periódica e repetitiva dos mesmos lugares (MAIO *et al.*, 2008).

O uso de dados orbitais constitui-se em um método indireto e não destrutivo para estimativa do IAF. De maneira geral é esperado que quanto maior o IAF, menor o valor de irradiância espectral referente às regiões do visível (380 a 720 nm) e do infravermelho médio (1.300 a 3.000 nm), devido à maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes absorvendo radiação eletromagnética incidente e quantidade de água, respectivamente, e maior valor na região do infravermelho próximo, devido ao múltiplo espalhamento entre folhas (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

Para Maio Sausen (2008) em um país como o Brasil que tem uma vasta extensão de territorial, a utilização de imagens orbitais são uma forma barata e eficaz de coletar os dados para monitorar e modelar fenômenos que ocorrem no ecossistema de toda essa área. Para os autores a maior vantagem com os sensores orbitais são que as informações são atualizadas a todo instante, pelo volume e frequência de dados que se tem pela repetição das imagens dos satélites.

Segundo Araújo (2017), os sensores orbitais que tem o maior potencial de aplicação em estudos são:

Os sensores orbitais que utilizam diodos semicondutores e que têm maior potencial de aplicação em estudos geológicos são os dos satélites da série Landsat, o Terra/ASTER e, mais recentemente, o WorldView-3, todos eles operando nas regiões do EEM referentes ao visível e infravermelho refletido e os dois primeiros também no infravermelho termal. Já os sensores do tipo SAR operando a bordo de satélites e que têm sido mais extensivamente

utilizados em estudos geológicos exploratórios são o Radarsat, o ALOS/PALSAR e o TerraSAR-X (ARAÚJO, 2017).

3.5 Sensor MODIS e TRMM

O sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) acoplado nos satélites Terra e Aqua, voltado a estudos dos ecossistemas terrestres, rastreia mais variações da Terra do que qualquer outro sensor instalado no satélite Terra e Aqua. Possui uma ampla faixa de visualização de 2.330 km, o sensor MODIS vê todos os pontos do planeta a cada um a dois dias em 36 bandas espectrais discretas, sendo ideal para monitorar mudanças em grande escala (NASA, 2021).

O MODIS mede a atividade fotossintética de plantas terrestres e marinhas (fitoplâncton) para obter melhores estimativas de quanto do gás de efeito estufa está sendo absorvido e usado na produtividade das plantas. Unido as medições de temperatura da superfície do sensor, as medições da biosfera do MODIS estão ajudando os cientistas a rastrear as fontes e sumidouros de dióxido de carbono em resposta às mudanças climáticas (NASA, 2021).

O sensor MODIS, consegue fornecer dados para cada pixel sobre a superfície da Terra, gerando uma projeção sinusoidal contínua, mantendo a área projetada da mesma forma que a área original (OLIVEIRA, 2020). O sensor MODIS gera um valor de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI) a cada 16 dias, para todo planeta. Devido a este fato, consegue-se monitorar o comportamento fenológico dos diferentes tipos de cobertura vegetal no planeta (LUZ *et al.*, 2021). Segundo Conceição *et al.* (2021) séries temporais de dados como NDVI e EVI possibilitam reconhecer os sistemas de produção agropecuários mais eficientes, principalmente em períodos de seca.

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), está em órbita terrestre desde novembro de 1997, em uma parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*). Esse satélite tem como principal finalidade o levantamento e pesquisa de dados de precipitação em áreas tropicais (SILVA *et al.*, 2013).

Para realizar o monitoramento hídrico de uma determinada região, pode-se utilizar o produto 3B43 V7 do satélite TRMM disponibilizado pela GES DISC DAAC (*Dis-tributed Active Archive System*) da NASA. Ele gera dados da precipitação

pluviométrica, permitindo analisar a distribuição espacial e temporal das chuvas (NASA, 2022). A junção dos dados de temperatura disponibilizados pelo MODIS e os dados de precipitação do TRMM permite a realização de cálculos do balanço hídrico (ALVES, 2021).

O TRMM gera diversos produtos que utilizam algoritmos para realizar os cálculos, sendo um deles o 3B43 que utiliza os sensores TMI (*Microwave Imager*) (TMI) e PR (*Precipitation Radare*) para estimar a precipitação. Os dados passam por uma calibração com os equipamentos terrestre, aumentando assim a acurácia entre as estimativas obtidas pelo satélite. Os dados são processados, e em seguida é feita uma interpolação gerando dados mensais com espaçamento de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ em uma frequência de três horas (ALMEIDA *et al.*, 2020; LOPES, 2020).

Atualmente estão disponíveis como série VI2-MODIS e precipitação acumulação mensal do TRMM para quaisquer coordenadas da América do Sul. Portanto possibilitando a recuperação da provisão mensal acumulada desde o ano de 2000. Para medição de dados, são realizadas estimativas de medição de uma superfície de medição (LEIVAS *et al.*, 2009).

3.6 Índice de vegetação EVI2 MODIS

Os índices espectrais de vegetação são técnicas muito utilizada, na área do sensoriamento remoto, na qual indicam a presença e as condições da cobertura vegetal monitorada. Relacionando diretamente a quantidade de biomassa, índice de área foliar, cobertura do solo, interceptação da radiação e produção da cultura (FONTANA *et al.*, 1998). Esses foram desenvolvidos com o objetivo de captar variações estruturais do dossel das culturas e estimar o conteúdo de água foliar (JIANG *et al.*, 2008). Os IVs têm diferentes designações como de monitorar biomassa das culturas e fornecer medidas quantitativas do vigor da cultura (GITELSON *et al.*, 2002).

O EVI2 foi proposto por Huete *et al.* (2002), combinando o índice SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) que teve como premissa incorporar um fator de correção do solo e o índice ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*), que utiliza coeficientes de resistência de aerossóis para diminuir a influência atmosférica dos (FRAMPTON *et al.*, 2013). Sendo desenvolvido para demonstrar as regiões com alta

biomassa, diminuindo a influência do solo e da atmosfera (MAIA, 2019).

Jiang *et al.* (2008) concluíram que não houve efeito estatístico significativo entre os a utilização dos índices EVI e EVI2 utilizando imagens do sensor MODIS. Os autores encontraram um erro associado ao método de estimativa do EVI2 da ordem de mais ou menos 0,02, afirmando que este índice seja utilizado como uma alternativa ao EVI.

As considerações sobre as assinaturas espectro-temporais em longos períodos, pode possibilitar a percepção e definição das alterações principais da cobertura vegetal, além das influências da precipitação nos valores do EVI no hábito fenológico das culturas que está sendo utilizada. Relacionando os efeitos climáticos da região em estudo, identificando e caracterizando o comportamento da cultura (FERNANDES; BORGES, 2021).

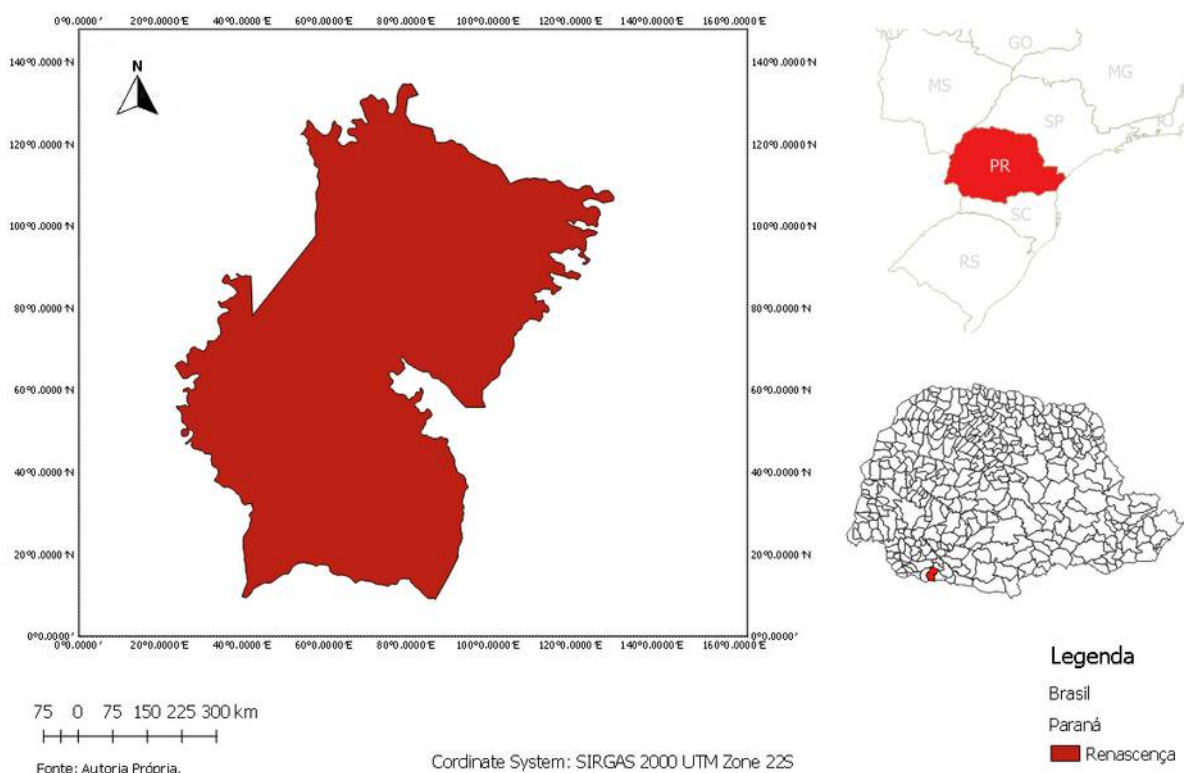
O EVI pode ser utilizado para pesquisar as variâncias que estão na cobertura vegetal, com esse tipo de sensoriamento remoto e séries multitemporais, pode ser realizado análise fenológica das culturas (BORGES; SANO, 2014). O EVI tem se mostrado bastante efetividade no monitoramento de áreas com culturas implantadas, identificando variações no dossel e na biomassa da cultura (MONDAL, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O município de Renascença – PR (Figura 2) que foi a área de estudo está situado no sudoeste do estado do Paraná, sua cidade localiza-se a uma latitude 26°09'23" sul e a uma longitude 52°57'26" oeste, o município é compreendido por uma área de 425,273 km².

Figura 2 – Localização geográfica do município de Renascença – PR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

O clima do município de Renascença é classificado como subtropical úmido do tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen. No verão apresenta temperaturas superiores a 22 °C e inferiores a 18 °C no inverno (ALVARES *et al.*, 2014). O solo da região é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, com textura muito argilosa e relevo suave ondulado (BHERING *et al.*, 2007).

4.2 Aquisição de dados

4.2.1 Dados de produtividade

Dados de produtividade da cultura da soja para a primeira safra, foram adquiridos pelas publicações do Departamento de Economia Rural (Deral) do estado do Paraná nos períodos de 2005 a 2016.

4.2.2 Dados de EVI2 e precipitação

Para a realização das análises utilizou-se dados de uma série de imagens EVI2 (*Enhanced Vegetation Index 2*) de janeiro de 2001 a janeiro de 2017, geradas a partir de dados MODIS disponibilizada pela ferramenta online *Series View* desenvolvida pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta (LAF) (FREITAS *et al.*, 2011) e os dados de precipitação pluvial acumulada mensal do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (Figura 3) que estima precipitação pluvial a partir da resposta de sensores de micro-ondas à presença de água ou cristais de gelo nas nuvens.

Figura 3 – Dados de EVI e TRMM no município de Renascença – PR entre os anos de 2001 e 2017. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

Os dados utilizados do TRMM (3B43) foram adquiridos usando o GES DISC DAAC disponibilizado pela NASA. O produto TRMM corresponde a uma série de precipitação acumulada mensal, com área de aproximadamente 0,25 graus (27,7 km). O valor de precipitação foi extraído a partir de 1 pixel TRMM em posição mais

próxima da coordenada geográfica indicada (Figura4).

Figura 4 – Localização geográfica (26° 88'S e 52° 88'O) de um pixel estudado no município de Renascença – PR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

Os dados de precipitação pluvial do TRMM foram organizados em ciclos de 16 dias de forma a tornar compatíveis com as datas das imagens MODIS. Posteriormente, os dados foram organizados para realizar o índice em janeiro de cada ano. Estes dados com resolução espacial de 250 m e temporal de 16 dias correspondem aos produtos MOD13Q1 e MYD12Q1 do sensor MODIS, dos satélites Terra e Aqua, respectivamente.

O índice de vegetação utilizado no projeto é o EVI2, como descrito por Freitas *et al.* (2011), onde destaca as variações da cobertura do solo. É calculado usando a reflectância de superfície das bandas do Red e NIR (*near infrared*) disponíveis nos produtos do MOD13Q1, seguindo a equação 1.

$$EVI2 = 2.5 * NIR - Red / (NIR + 2.4 * Red + 1) \quad (1)$$

Onde:

NIR é o valor da reflectância da faixa do infravermelho próximo e

Red é o valor da reflectância da faixa do vermelho.

4.3 Estatística dos dados

Os dados observados foram organizados e tratados em planilhas do software Microsoft Office Excel. Usando esse mesmo software, foram realizados gráficos visando detectar a ocorrência de uma tendência e a variabilidade dos parâmetros de IVE2, pluviosidade e produtividade da soja, nos períodos de 2001 a 2017. Com os dados foram realizados gráficos de dispersão, ajustando a curva de tendência no modelo com maior confiabilidade (R^2).

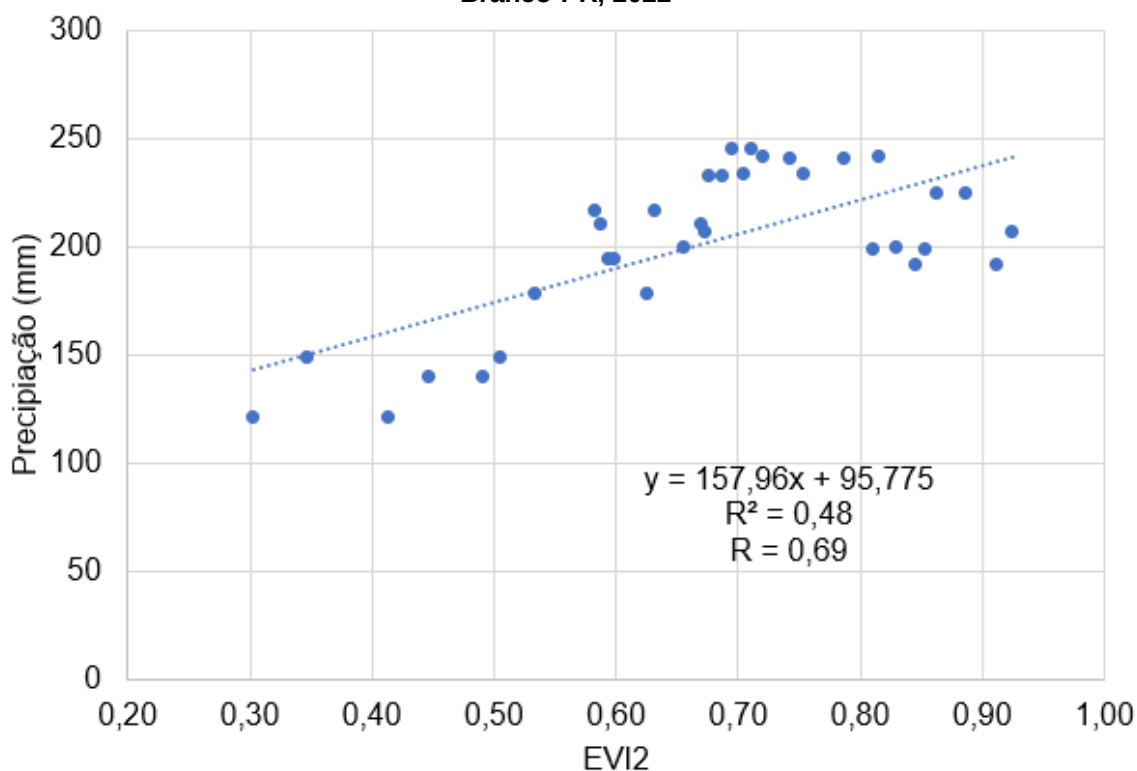
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Relação entre o EVI2 e precipitação

Na Figura 5 mostra o gráfico de dispersão dos dados analisados entre EVI2 e a precipitação no período de 2001 a 2017, apresentando a equação e coeficiente de determinação R^2 . Verifica-se que as precipitações explicam 48% das variações do EVI2. Esta avaliação indica que a variação do EVI2 é evidenciada de maneira significativa quando se considera todo o conjunto de dados, em que com o aumento da precipitação há aumento no índice EVI2.

Também os valores dos índices de EVI2 ficaram maior parte do tempo acima de 0,60, devido ao acumulado de chuvas nos meses de janeiro ficaram maioria das vezes acima de 150 mm. Ressalvasse que nos meses de janeiro, a soja encontrava-se no seu desenvolvimento vegetativo máximo, pelo fotoperíodo e no caso de não sofrerem de estresse hídrico. No caso do plantio for realizado em novembro.

Figura 5 – Relação entre EVI2 e precipitação dos meses de janeiro de 2001 a 2017. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

Os EVI2 podem estar correlacionados com a indicação de uma biomassa verde adequada, assim, esperasse que em condições com maior precipitação os EVI2 sejam maiores (JENSEN, 2009). Todavia nos meses de janeiro algumas áreas plantadas com soja podem estar na fase reprodutiva, o que faz com que os resultados do EVI2 sejam limitados, níveis menores nos dos índices de EVI2 e NDVI, nessa fase da soja foram entrados por (ACHAPARINI *et al.*, 2019).

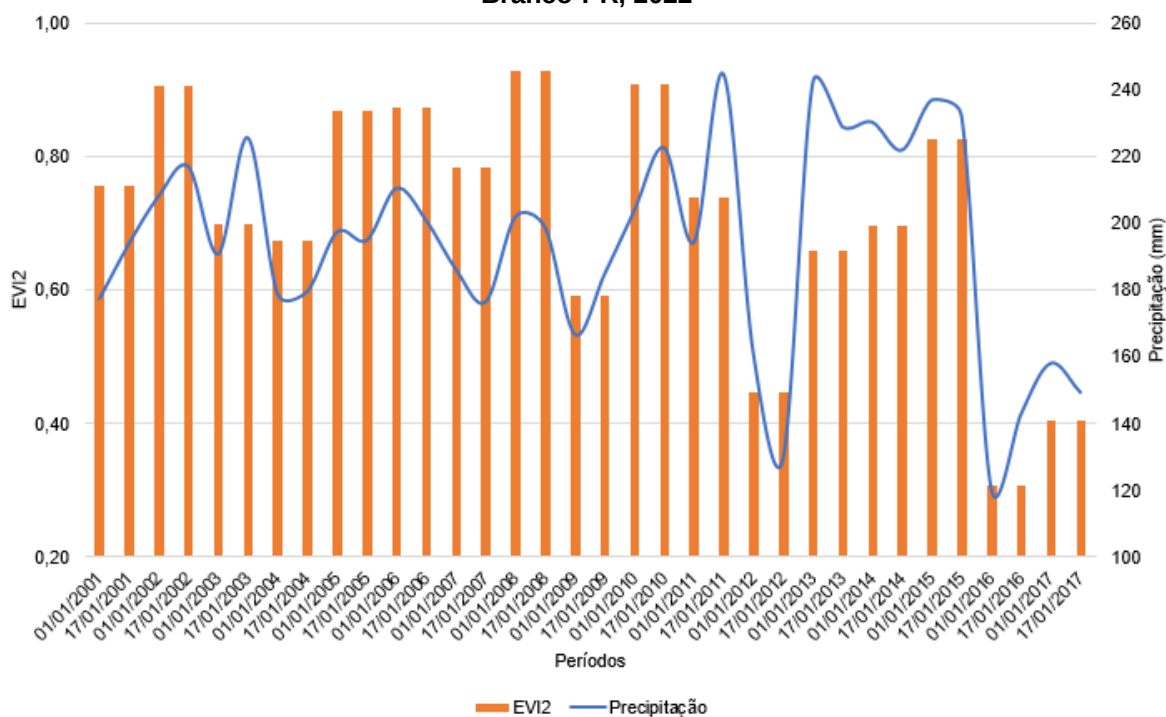
Utilizando os dados do laboratório virtual, foi realizado uma comparação entre o índice de vegetação e a precipitação, revelando o comportamento temporal, no qual quando houve mais chuvas, o índice de vegetação teve um valor maior nos anos estudados, como visto na curva do EVI2, que foi acompanhada pelos dados de precipitação apresentados na Figura 4.

Vale a ressalva que o mês de janeiro foi escolhido em decorrência do vigor vegetativo soja. Houve variação nos valores de precipitação pluviométrica e EVI2, no período de 2001 a 2017. Observa-se que os anos de 2012, 2016 e 2017 apresentaram menores acúmulo de chuvas nos meses de janeiro, sendo que os valores mínimos foram observados de 121 mm acumulados no ano de 2016. Por outro lado, os maiores totais pluviais se concentraram nos anos de 2002, 2008 e 2010, com pico de 245,6 mm em janeiro de 2008.

Os índices EVI2 apresentaram ao longo da série temporal picos irregulares, que estão associados a variação das chuvas em janeiro. Alguns picos nos índices de EVI2 ficaram mais elevados, mesmo que a precipitação foi menor do que outros anos, como nos anos de 2003, 2011, 2013, 2014, 2015 e 2016. Isso pode ser explicado pelo acúmulo de chuva nos meses que antecederam janeiro, podendo ser um indicativo de alto vigor vegetativo da soja na safra respectiva. No entanto, deve-se ressaltar que a precipitação ou a seca em meses anteriores podem mascarar os dados nos meses estudados.

Corroborando com esse trabalho Achaparini *et al.* (2019) confirmam que os EVI2 podem ser utilizados como indicadores do desenvolvimento da soja. Nos períodos de déficit hídrico, acarretam oscilações no perfil temporal dos IVs ao longo do ciclo da cultura. Assim, safras de soja em que ocorrem pequenos ou inexistentes períodos de deficiência hídrica, tendem a apresentar perfis de EVI2 mais contínuos. Os autores reforçam que o desenvolvimento vegetativo adequado da soja, depende, principalmente, das condições hídricas disponíveis para a cultura.

Figura 6 – Média de precipitação dos meses de janeiro de 2001 a 2017 e EVI2. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

5.2 Relação entre EVI2 e produtividade

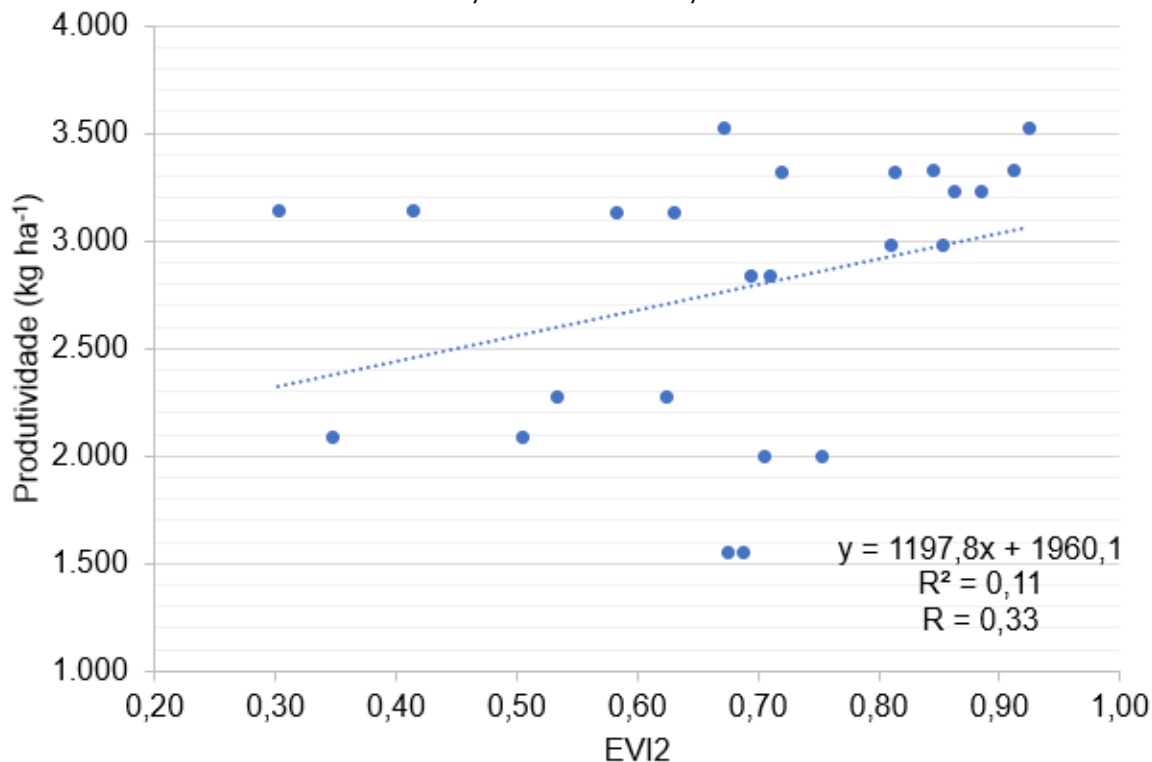
Na Figura 7 apresenta o gráfico de dispersão utilizando regressão linear entre EVI2 e produtividade. Verifica-se uma baixa relação entre os dados, apresentando R^2 de 0,1088 sendo que o EVI2 não explica a produtividade da soja. Sabe-se que a produtividade da cultura apresenta uma forte correção ambiental, como a fertilidade do solo (LONDERO *et al.*, 2020) e com os componentes de rendimento (ZUFFO *et al.*, 2015).

Esse resultado corrobora com o resultado de Santos *et al.* (2018), mostrando que a produtividade da soja não tem correlação direta com o índice de vegetação. Os autores encontraram valores negativos, mas não significativos para a correlação da produtividade com o índice de vegetação.

A partir dos valores de EVI2 e NDVI e informação dos IVs da soja, Trindade *et al.* (2019), encontraram relação com os atributos físicos do solo e não somente com a biomassa. Os autores concluíram que o EVI quando utilizados em estádios fenológicos R1, R2 e R3 geram os melhores resultados para previsão da

produtividade de grãos.

Figura 7 - Relação entre EVI2 e produtividade da soja nos meses de janeiro de 2005 a 2016. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

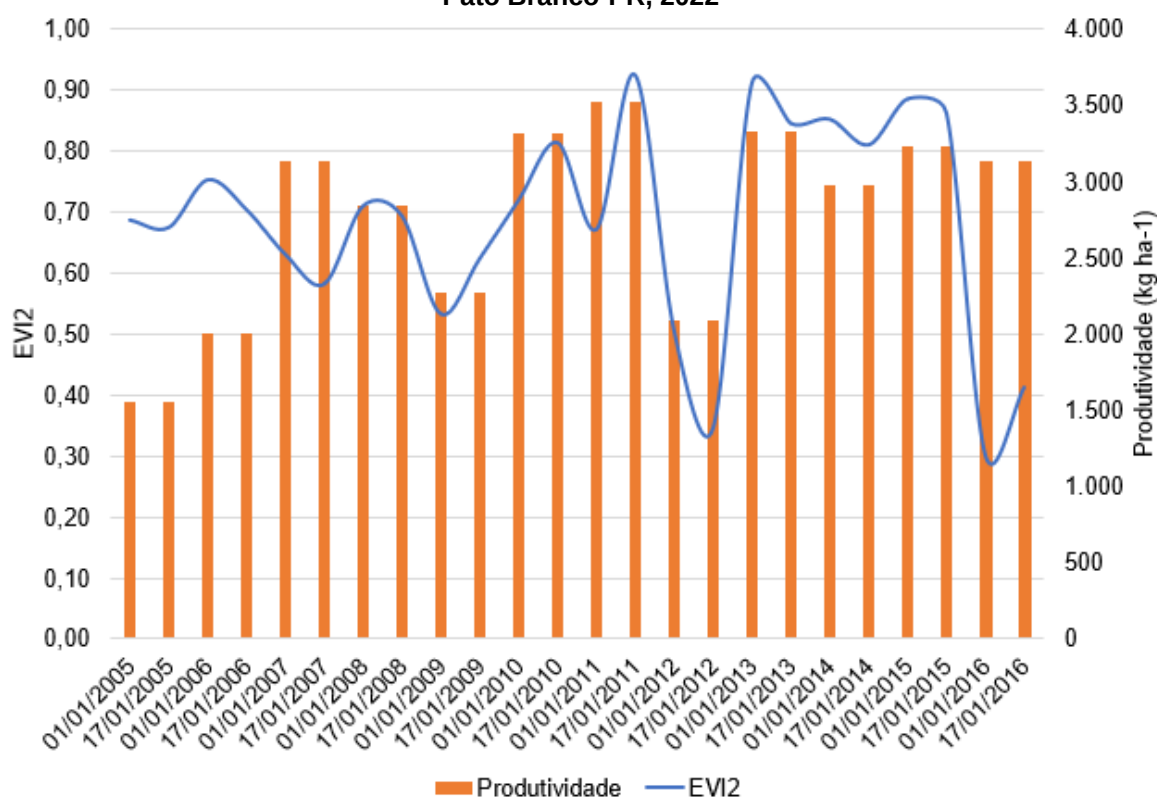
Na Figura 8 estão apresentados os dados da variação anual dos meses de janeiro de produtividade e EVI2, no período de 2005 a 2016. Foi observado que a partir do ano de 2008 a produtividade acompanhou o comportamento do EVI2. Pelos dados EVI2 e pelo índice de pluviosidade apenas no ano de 2012 houve baixo desempenho na produção de soja, apresentando produtividade média para a região de 2.087 kg ha⁻¹.

A maior produtividade foi nos picos do EVI2, nos anos de 2010, 2011, 2013 e 2015. Os EVI2 obtiveram média de 0,83 e produtividade média de 3.347,75 kg ha⁻¹. A produção média nacional na safra 2015/16 foi de 2.870 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017b), e o intervalo de produção ficou entre 2.000 e 3.500 kg ha⁻¹ nos últimos 12 anos (CONAB, 2016).

Nos anos de 2005 e 2006 a produtividade média foi de 1.550 e 2.000 kg ka⁻¹, nesses anos o EVI2 e a pluviosidade foram a de 0,71 e 234,05 mm para no mês de

janeiro, sendo que a produtividade baixa nesse período não teve influência desses fatores nesse mês. Também deve levar em conta a dinâmica espaço-temporal da vegetação estudada, nesse caso a soja, o que é importante para compreender as especificidades de cada área de estudo (COSTA *et al.*, 2021). Todavia há muitos fatores que podem afetar a produtividade da soja sem alterar o índice vegetativo, como foi avaliado apenas o mês de janeiro, não há como inferência qual foi a problemática da baixa produção nesses anos.

Figura 8 -- Média de produtividade da soja nos meses de janeiro de 2005 a 2016 e EVI2. UTFPR, Pato Branco-PR, 2022



Fonte: autoria própria (2022).

6 CONCLUSÕES

As precipitações explicam 48% das variações do EVI2. A variação do EVI2 é evidenciada de maneira significativa quando se considera todo o conjunto de dados, em que com o aumento da precipitação há aumento no índice EVI2. Os valores dos índices de EVI2 ficaram maior parte do tempo acima de 0,60. Os índices EVI2 apresentam ao longo da série temporal picos irregulares, que estão associados a variação das chuvas em janeiro.

Não foi verificado efeito entre o EVI2 e a produtividade da soja. Assim ocorre a necessidade de maiores estudo de uma dinâmica espaço-temporal da soja, para melhorar a correlação entre a produtividade e o EVI2, compreendendo melhor as especificidades de cada área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ACHAPARINI, L. P.; FONTANA, D. C.; DALMAGO, G. A.; RODIGHIERI, G.; FERNANDES, J. M. C.; SANTI, A.; VARGAS, P. R. **Análise comparativa entre índices de vegetação e sua relação com o balanço hídrico em soja.** v. 27, p. 183–190, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26574>. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1121184>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- ALMEIDA, K. N. de; REIS, J. A. T. dos; BUARQUE, D. C.; MENDONÇA, A. S. F.; RODRIGUES, M. B.; SÁ, G. de L. N. **Performance analysis of TRMM satellite in precipitation estimation for the Itapemirim River basin, Espírito Santo state, Brazil.** v. 141, n. 3, p. 791–802, 1 ago. 2020. DOI 10.1007/s00704-020-03204-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03204-5>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.
- ALVES, B. O. **Avaliação multitemporal da dinâmica do balanço hídrico de regiões nativas do cerrado e áreas agrícolas de pivô central no Distrito Federal.** 2021. 154 f. Monografia – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/30667>. Acesso em: 3 jan. 2022.
- ARAÚJO, S. de. **Fundamentos de geoprocessamento aplicados à mineração.** Cruz das Almas: UFRB, 2017. Disponível em: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/175224/1/fund_geo.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I. A.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P. de; POTTER, R. O.; CURCIO, G. R. **Mapa de solos do estado do Paraná.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/339505>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- BORGES, E. F.; SANO, E. E. **Séries temporais de Evi do Modis para o mapeamento de uso e cobertura vegetal do Oeste da Bahia.** v. 20, p. 526–547, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1008539/series-temporais-de-evi-do-modis-para-o-mapeamento-de-uso-e-cobertura-vegetal-do-oeste-da-bahia>. Acesso em: 6 jan. 2022.
- BOTELHO, L. da S. **Detecção, transmissão e efeitos de Sclerotinia sclerotiorum em sementes de soja.** 2014. 156 f. Tese de doutorado – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1666>. Acesso em: 5 nov. 2020.
- CÂMARA, G. M. de S. **Introdução ao agronegócio soja.** Texto básico da disciplina essencial LPV 0584. [S. l.]: USP/ESALQ, 2012.
- CÂMARA, G. M. de S. **Introdução ao agronegócio soja.** Texto básico da disciplina essencial LPV 0584. [S. l.]: USP/ESALQ, 2015. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5746644/mod_resource/content/1/LPV%200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf. Acesso em: 15 jan. 2021.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A.; ROSA, G. M. **Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo**. v. 9, n. 17, p. 969–985, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3080>. Acesso em: 30 jan. 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2016/17**. v. 4, n. 6, p. 176, 2017a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=60>. Acesso em: 20 maio 2019.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2016/17. **Décimo segundo Levantamento**, v. 4, n. 12, p. 158, 2017b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=50>. Acesso em: 20 maio 2019.

CONAB. Compêndio de estudos Conab. **Perspectivas de diversificação e de investimentos na produção de arroz - trigo - feijão**, v. 1, p. 54, 2016. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab?start=20>. Acesso em: 18 fev. 2020.

CONCEIÇÃO, M. P. C.; NOGUEIRA, S. F.; BAYMA-SILVA, G.; GREGO, C. R.; MANJOLIN, R. C. **Avaliação temporal de sistemas pecuários usando o Índice de Vegetação NDVI derivado de imagens Landsat**. v. 4, n. 1, p. 1451–1463, 2021. DOI 10.34188/bjaerv4n1-120. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/viewFile/26921/21408>. Acesso em: 29 nov. 2021.

COSTA, L. C. B. da; GUASSELLI, L. A.; LAURENT, F.; MESSNER, F. **Propriedades das séries temporais de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de solos RQo associadas a arenização**. v. 44, p. 1–13, 2021. DOI 1982-3908_2021_44_36729. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/221828>. Acesso em: 10 maio 2022.

EASTMAN, J. R.; SANGERMANO, F.; MACHADO, E. A.; ROGAN, J.; ANYAMBA, A. Global Trends in Seasonality of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), 1982–2011. **Remote Sensing**, v. 5, n. 10, p. 4799–4818, 2013. DOI 10.3390/rs5104799. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/10/4799>. Acesso em: 20 jun. 2022.

EINSTEIN, Albert. Jamais considere seus estudos como ...(Frase). 19xx. **Pensador**. Disponível em: <https://www.pensador.com/frase/NTQ3ODcz/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

EMBRAPA. **Árvore do Conhecimento soja**. 2013. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/Abertura.html>. Acesso em: 20 jun. 2022.

EMBRAPA. **Dados econômicos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 14 jul.

2021.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Milho: Fatores Determinantes da Produtividade**. [S. l.]: FEALQ/ESALQ/USP, 2007.

FAO. **FAO / OCDE: A América Latina e o Caribe responderão por 25% das exportações mundiais de produtos agrícolas e pesqueiros em 2028**. 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/1201081/>. Acesso em: 30 mar. 2020.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. , p. 9, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470308/ecofisiologia-da-soja>. Acesso em: 21 abr. 2020.

FERNANDES, L. A.; BORGES, E. F. Análise do comportamento da cobertura vegetal por meio de séries temporais de índices de vegetação e dados de precipitação na mesorregião do nordeste da bahia. *In*: XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS, 2021. **Inteligência artificial: a nova fronteira da ciência brasileira** [...]. Feira de Santana: [s. n.], 2021. p. 4. DOI 10.13102/semic.vi24.6927. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/6927>. Acesso em: 19 fev. 2022.

FERREIRA, A. B.; FILHO, W. P. **Análise do uso e cobertura da terra de três sub-bacias hidrográficas - Rio Grande do Sul/Brasil**. v. 2, p. 20–36, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232631/26644>. Acesso em: 4 abr. 2022.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. [S. l.]: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. Imagens obtidas por sensoriamento remoto. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: [s. n.], 2002. p. 9–22. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692586/mod_resource/content/2/Imagens%20de%20sate%CC%81lite%20para%20estudos%20ambientais.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. **Relação entre o índice de vegetação global e condições hídricas no rio grande do sul**. v. 33, n. 8, p. 1399–1405, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Homero-Bergamaschi/publication/287765514_Relationship_between_the_global_vegetation_index_and_water_conditions_in_Rio_Grande_do_Sul/links/573a290a08ae9ace840dc80e/Relationship-between-the-global-vegetation-index-and-w. Acesso em: 20 abr. 2022.

FRAMPTON, W. J.; DASH, J.; WATMOUGH, G.; MILTON, E. J. **Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation**. v. 82, p. 83–92, 2013. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092427161300107X>. Acesso em: 20 maio 2022.

FREITAS, R. M. de; ARAI, E.; ADAMI, M.; FERREIRA, A. S.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. **Virtual**

laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. v. 2, p. 57–68, 2011. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/laf/series/artigos/Freitas_Ramon_M_et_al_2011_JCIS_Virtual_laboratory_of_remote_sensing_time_series.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine Max, (L.) Merrill.)**. 2014. 123 f. text – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014. DOI 10.11606/T.11.2014.tde-15092014-113209. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-15092014-113209/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76–87, 1 abr. 2002. DOI 10.1016/S0034-4257(01)00289-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425701002899>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GONÇALVES, L. L.; YADA, M. M. Desempenho brasileiro no mercado da soja e sua utilização na alimentação de bovinos. **SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 5, n. 1, p. 189–201, 2019. Disponível em: <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/352>. Acesso em: 20 jun. 2022.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro.** , p. 37, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104753/1/O-agronegocio-da-soja-nos-contextos-mundial-e-brasileiro.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2021.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of Land Surface Monitoring. v. 83, n. 1, p. 195–213, 1 nov. 2002. DOI 10.1016/S0034-4257(02)00096-2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425702000962>. Acesso em: 15 jun. 2022.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto da vegetação. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parenteses, 2009. p. 357.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833–3845, 15 out. 2008. DOI 10.1016/j.rse.2008.06.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425708001971>. Acesso em: 10 maio 2020.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. **Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul.** v. 17, p. 1116–1123, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/111963>. Acesso em: 11 maio 2022.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B. de; FILHO, J. R. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de

superfície em Manaus. 25., 2009. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** [...]. Natal: INPE, 2009. v. 25, p. 1611–1616. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.40/doc/1611-1616.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

LONDERO, R.; OLIVEIRA, R. B. de; NASCIMENTO, J. M. do; ARCOVERDE, S. N. S.; SECRETTI, M. L. **Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja**. v. 12, p. 1–8, 29 nov. 2020. DOI 10.35699/2447-6218.2020.25450. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/25450>. Acesso em: 20 jun. 2022.

LOPES, M. K. C. **Estimativas de precipitação das imagens de satélites comparada a registros pluviométricos na sub-bacia do Rio Piancó-Paraíba**. 2020. 82 f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/20675>. Acesso em: 15 maio 2022.

LUZ, C. C. da S.; RAMOS, A. W. P.; BARROS, C. A. de; NEVES, S. M. A. da S.; SILVA, J. dos S. V. da; GALVANIN, E. A. dos S. **EDVI e EVI aplicados à análise da dinâmica temporal da cobertura vegetal e usos da terra da Bacia do Córrego Padre Inácio**. v. 44, 2021. DOI 10.11137/1982-3908_2021_44_35438. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1133639>. Acesso em: 14 fev. 2022.

MAIA, F. C. de O. **Utilização de índices de vegetação para identificação de ambientes de produção de cana-de-açúcar**. 2019. 73 f. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/35383>. Acesso em: 15 jan. 2020.

MAIO, A. D.; RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PEREIRA, G.; MOREIRA, M. A.; SAUSEN, T. M.; FLORENZANO, T. G. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Brasília: Agência Espacial Brasileira, 2008.

MAIO, A. D.; SAUSEN, T. M. Aplicações de sensoriamento remoto. **Sensoriamento remoto**. Brasília: Agência Espacial Brasileira, 2008. p. 47–57.

MONDAL, P. Quantifying surface gradients with a 2-band Enhanced Vegetation Index (EVI2). **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 918–924, 1 maio 2011. DOI 10.1016/j.ecolind.2010.10.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X10001779>. Acesso em: 5 fev. 2022.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

NASA. **MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – About**. 2021. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>. Acesso em: 5 fev. 2022.

NASA. **The Global Precipitation Measurement Mission (GPM)**. 2022. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>. Acesso em: 20 jun. 2022.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. **Estádios de desenvolvimento da cultura de soja**. [S. l.: s. n.], 2000. p. 20–44. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/456809/1/ID-12906.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, E. N. F. de. **Uma abordagem semissupervisionada para classificação de pastagens usando séries temporais de NDVI**. 2020. 87 f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10380>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ROSSI, F. S. **Balanco de carbono e saldo de radiação em diferentes sistemas de plantio de soja por meio de variáveis espectrotemporais**. 2020. 96 f. Dissertação de mestrado – Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, 2020. Disponível em: <https://www.bionorte.org.br/bionorte/ppg-numeros-producao.html?idp=210735>. Acesso em: 10 maio 2022.

SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, B. A. de; GOMES, I. F.; GROF, A. M. Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja. *In*: XI ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 2018. XI EEPA [...]. Campo Mourão: [s. n.], 2018. p. 1–10. Disponível em: http://anais.unespar.edu.br/xi_eeпа/data/uploads/artigos/1/1-10.pdf. Acesso em: 21 abr. 2022.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VILELA, M. de F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 58–73. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003275/1/2014cpamtlucianoshiratsushisensoriamentoremotoconceitosbasicosaplicacoesagriculturaprecisao.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SILVA, D. F. da; PANTANO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. de. Análises de dados de precipitação estimados pelo satélite trmm para o vale do médio paranapanema – SP. v. 21, n. 2, p. 138–147, 18 abr. 2013. DOI 10.13083/reveng.v21i2.353. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/319>. Acesso em: 20 jun. 2022.

TRINDADE, F. S.; ALVES, M. de C.; NOETZOLD, R.; ANDRADE, I. C. de; POZZA, A. A. A. Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, p. 1–11, 14 mar. 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2928>. Disponível em: <https://200.129.150.26/index.php/ajaes/article/view/2928>. Acesso em: 21 jun. 2022.

WENG, Q. **Techniques and Methods in Urban Remote Sensing - Qihao Weng - Google Livros**. [S. l.]: Wiley-IEEE Press, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=mY23DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP9&dq=Techniques+and+Methods+in+U>

[rban+Remote+Sensing&ots=yiGSr07P2_&sig=m6ox5H_0lb_XUvdDXpRBKoihZRM#v=onepage&q=Techniques%20and%20Methods%20in%20Urban%20Remote%20Sensing&f=false](#). Acesso em: 21 jun. 2022.

YAMAMOTO, M. K.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E.; DE SOUZA, A. F. **Laboratório virtual: visualização, disponibilidade e integração de dados de sensoriamento remoto**. Relatório final de projeto de iniciação científica. [S. l.]: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Disponível em: http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/06.08.20.32/doc/yamamoto_laboratorio.pdf. Acesso em: 2 abr. 2022.

ZUFFO, A. M.; REZENDE, P. M.; BRUZI, A. T.; OLIVEIRA, N. T.; SOARES, I. O.; NETO, G. F. G.; CARDILLO, B. E. S.; SILVA, L. O. Co-inoculation of Bradyrhizobium japonicum and Azospirillum brasilense in the soybean crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 87–93, 2015. DOI 10.19084/rca.16873. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16873>. Acesso em: 15 maio 2022.