

# Estudo do Uso de Índices de Vegetação nas Culturas do Brasil

## The Vegetation Indices Study in Brazilian Cultures

Félix Santana Sobrinho Neto<sup>a</sup>; Victor Hugo de Moraes Danelichen<sup>\*b</sup>

<sup>a</sup>Universidade de Cuiabá. MT, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade de Cuiabá, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais. MT, Brasil.

\*E-mail: [victor.danelichen@kroton.com.br](mailto:victor.danelichen@kroton.com.br)

---

### Resumo

O uso de geotecnologias na agricultura com a utilização de sensoriamento remoto (SR) junto com sistemas de informações geográficas (SIG) no Brasil vem sendo amplamente utilizada nos últimos anos com o lançamento de novos satélites de alta resolução espacial, pois apresentam baixo custo, ausenta a mão de obra técnica no campo e alcança com precisão áreas de grandes extensões agrícolas. Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi analisar diferentes estudos que utilizam o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) nas principais culturas brasileiras (soja, cana-de-açúcar e café). O presente trabalho apresentou os conhecimentos sobre índices de vegetação, sensores orbitais e uso da geotecnologia para monitoramento de culturas no Brasil. Foi possível concluir que o NDVI é o índice de vegetação mais utilizado no Brasil para estudos envolvendo mapeamento e diagnóstico de diferentes culturas cultivadas no país, sendo utilizado por diferentes autores com distintos satélites. Outros índices de vegetação como SAVI e EVI também foram apresentados e destacados como metodologias alternativas para produção de mapas de vegetação das culturas, indicadores de saúde da cultura, além do convencional (NDVI). O estudo demonstrou também o Sensoriamento Remoto como técnica alternativa indispensável, viável e de baixo custo no contexto atual brasileiro envolvendo atividade agrícola.

**Palavras-chave:** Geotecnologia. Índices de Vegetação. Sensoriamento Remoto. Satélites. Culturas.

### Abstract

*The use of geotechnologies in agriculture with the use of remote sensing (SR) along with geographic information systems (GIS) in Brazil has been widely used in recent years with the launch of new satellites of high spatial resolution, since they are low cost, absent the technical workforce in the field and accurately reaches areas of large agricultural tracts. Therefore, the general objective of this work was to analyze different studies using the normalized difference vegetation index (NDVI) in the main Brazilian crops (soybean, sugar cane and coffee). The present work presented the knowledge about vegetation indices, orbital sensors, and the use of geotechnology to monitor crops in Brazil. It was possible to conclude that the NDVI is the vegetation index most used in Brazil for studies involving mapping and diagnosis of different crops grown in the country, being used by different authors with different satellites. Other vegetation indexes such as SAVI and EVI were also presented and highlighted as alternative methodologies to produce crop vegetation maps, crop health indicators, besides conventional (NDVI). The study also demonstrated Remote Sensing as an indispensable, viable and inexpensive alternative technique in the current Brazilian context involving agricultural activity.*

**Keywords:** Geotechnology. Indices of Vegetation. Remote Sensing. Satellites. Cultures.

---

### 1 Introdução

Desde o lançamento da série dos satélites Landsat (Land Remote Sensing Satellite) em 1972 pela NASA, índices de vegetação, como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) têm chamado atenção como excelentes indicadores das condições e presenças de culturas agrícolas e florestas nativas. Estes índices são combinações matemáticas de bandas espectrais que realçam a vegetação e minimiza os efeitos do solo e interferência atmosférica (PEREIRA *et al.*, 2021).

O uso de geotecnologias na agricultura com a utilização de sensoriamento remoto (SR) junto com sistemas de informações geográficas (SIG) no Brasil vem sendo amplamente utilizada nos últimos anos com o lançamento de novos satélites de alta resolução espacial, pois apresentam baixo custo, ausenta a

mão de obra técnica no campo e alcança com precisão áreas de grandes extensões agrícolas (CAMPOS; DANELICHEN, 2021).

Grande parte dos problemas de gestão de recursos naturais da agricultura brasileira são consequências do uso indiscriminado de agrotóxicos, de técnicas manejo ineficientes e do desmatamento de florestas ripárias sem necessidades. Muito comum no modelo agrícola convencional, essas práticas geram ao meio ambiente impactos negativos, como contaminação das áreas em torno, perda da biodiversidade, erosão, assoreamento, perda de solo, entre outros (SOARES *et al.*, 2020).

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi analisar diferentes estudos que utilizam o índice de vegetação da

diferença normalizada (NDVI) nas principais culturas brasileiras.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Metodologia

Para concretização deste trabalho foi necessário realizar buscas em periódicos nacionais e internacionais no banco de dados de pesquisa Google acadêmico, boletins agrícolas do banco de dados da Embrapa e notas de pesquisas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil. Os índices pesquisados na literatura estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Índices de vegetação, as bandas do satélite Landsat 5 como exemplo, simbolizadas pela letra grega  $\rho$  e, L fator de correção dos efeitos do dossel da vegetação.

<i>Índices espectrais</i>	<i>Equações</i>	<i>Autores</i>
<i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$	Rouse <i>et al.</i> , 1973
<i>Enhanced Vegetation Index (EVI)</i>	$EVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + 6 + \rho_3 - 7.5 \times \rho_1 + 1)}$	Huete <i>et al.</i> , 1997
<i>Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)</i>	$SAVI = \left( \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3 + 0.5} \right) \times (1.5)$	Huete <i>et al.</i> , 1988

### 2.2 Discussão

#### 2.2.1 Sensoriamento Remoto

Há várias definições referentes à tecnologia de Sensoriamento Remoto. Sensoriamento Remoto (SR) do ponto de vista do usuário de imagens de satélite consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamento para processamento e transmissão de dados e plataformas (áreas) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1989).

Cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial o sensoriamento remoto abre um leque de técnicas. As fotografias aéreas foram o primeiro produto de SR a ser utilizado pelas interpretações da fotogrametria e fotointerpretação. A sigla SR apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente aquisição de informações sem contato físico com os objetos. Desde então esse termo tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia (PONZONI, 2001)

Uma das primeiras aplicações do SR foi relatado para uso militar. No processo evolutivo das aplicações militares, os pombos foram substituídos por balões não tripulados que, presos por cabos, eram suspensos até a uma altura suficiente para tomadas de fotos das posições inimigas por meio de várias câmaras convenientemente fixadas ao balão. Após a tomada das fotos o balão era puxado de volta e as fotos reveladas eram utilizadas nas tarefas de reconhecimento. Posteriormente, aviões foram utilizados como veículos para o transporte das

câmaras (FIGUEIREDO, 2005)

A evolução de quatro segmentos tecnológicos principais determinou o processo de evolução do SR por satélites: a) Sensores – são os instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens, cuja evolução tem contribuído para a coleta de imagens de melhor qualidade e de maior poder de definição. b) Sistema de telemetria – consiste no sistema de transmissão de dados e imagens dos satélites para estações terrestres, e tem evoluído no sentido de aumentar a capacidade de transmissão dos grandes volumes de dados, que constituem as imagens. c) Sistemas de processamento – consistem dos equipamentos computacionais e softwares destinados ao armazenamento e processamento dos dados do SR. A evolução deste segmento tem incrementado a capacidade de manutenção de acervos e as potencialidades do tratamento digital das imagens. d) Lançadores – consistem das bases de lançamento e foguetes que transportam e colocam em órbita, os satélites. A evolução deste segmento tem permitido colocar, em órbitas terrestres, satélites mais pesados, com maior quantidade de instrumentos, e conseqüentemente, com mais recursos tecnológicos. (FIGUEIREDO, 2005)

No final da década de 1960 o Brasil iniciou os investimentos na capacitação de profissionais e no desenvolvimento de infraestrutura que viabilizasse a aplicabilidade das técnicas de sensoriamento remoto, com a implantação do Projeto Sensoriamento Remoto no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). No início dos anos 70, todas as atividades concentraram-se na recepção e na utilização de imagens orbitais do sensor MSS (Multispectral Scanner) dos satélites da série Landsat. Contudo, o conhecimento disponível naquela época restringia-se à viabilização da identificação de feições específicas existentes na superfície terrestre que, por sua vez, possibilitou a elaboração de mapas temáticos variados. Com o lançamento do sensor Thematic Mapper (TM), década de 80, a bordo do satélite Landsat 4 e posteriormente do Landsat 5, a resolução espacial mais precisa e o maior número de bandas espectrais exploradas deste sensor em relação a seu antecessor (MSS), abriram novas possibilidades, incluindo não só os mapeamentos temáticos como também os estudos visando à quantificação de parâmetros biofísicos (índices de vegetação - IV) mediante o uso dos dados radiométricos derivados das imagens geradas (PONZONI, 2001)

Existem várias séries de satélites de SR em operação, entre eles podemos citar: LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD e NOAA. Os satélites das cinco primeiras séries são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, enquanto os satélites NOAA fazem parte dos satélites meteorológicos, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas são também utilizados no SR (FIGUEIREDO, 2005).

### 2.2.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Na economia do país a agricultura tem um enorme poder de decisão em seu regimento e contabilidade. A FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019) ratifica que o Brasil é uns dos maiores produtores de grãos no mundo, como soja e milho. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2019) a produção da safra de soja 2015/2016 foi de 33.189 milhões de hectares, e para a cultura do milho de 15.279 mil hectares. A soja é o segundo grão de maior importância no Estado de São Paulo, na região de Ourinhos – SP destaca-se como sendo a região das principais áreas de produção do estado, com uma produção de 26,4 milhões de sacos (60 kg).

Com o crescimento populacional a busca por soluções agrônomicas e ambientais tem se tornado cada vez mais necessária a humanidade. O avanço da tecnologia tem contribuído para isso. Entre as tecnologias, destaca-se o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento (DEMARCHI *et al.*, 2011). Sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como a forma de se obter, por meio do uso de sensores, informações de um objeto, ou alvo, sem que haja contato físico com ele, os dados podem ser adquiridos nos níveis: aéreo, terrestre e orbital, de acordo com a distância entre o objeto de interesse e o sensor (ARAÚJO, 2010). O sensoriamento remoto, através de processamento de imagens áreas, pode ser uma interessante ferramenta quando se busca obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície terrestre, sem contato físico com eles.

Os veículos não tripuláveis, como; satélites, drones, vants, aviões e balões podem ser utilizados em sensoriamento remoto. Providos de sensores e câmeras sobrevoam plantações, identificam e previnem problemas que possam ocasionar prejuízos às propriedades agrícolas, como; queimadas, pragas, falta de nutrientes, falhas em plantio e até mesmo o balanço hídrico de cada cultura (DANELICHEN *et al.*, 2021).

Para estimativa de índices biofísicos da vegetação requer a utilização de dados espectrais, que por sua vez constituem-se num dos mais importantes pilares do sensoriamento remoto dos ecossistemas naturais (ACCIOLY *et al.*, 2002). A extração de informações das imagens de satélite fundamenta-se no conhecimento de cada alvo da superfície analisando sua relação com radiação eletromagnética que que chega, que é emitida e absorvida pelo sistema solo-planta-atmosfera (ALVARENGA *et al.*, 2003).

Para que haja sucesso no crescimento e rendimento de cada cultura, deve escolher o período certo para o plantio, que é um dos fatores mais importantes na produtividade, pois a quantidade precisa de água disponível no solo influencia diretamente no ciclo vegetativo. Além de que, o conhecimento do ciclo fenológico da cultura é de suma importância. Uma das formas de se fazer isso, é observando a característica espectral (assinatura espectral) de cada cultura que é possível por meio

de técnicas de sensoriamento remoto (ARAÚJO, 2010). Cada alvo da superfície terrestre tem uma refletância específica, um comportamento espectral diferente na mesma condição ambiental. Segundo Araújo (2010), os dados de refletância das culturas podem ser obtidos por meio de índices de vegetação.

Para o computo dos índices de vegetação, imagens de satélite são de grande contribuição devido à alta periodicidade na varredura de imagens da superfície da terra e possibilidade de imageamento de extensas áreas, que permitem monitorar a vegetação de forma contínua no espaço e tempo. As gerações de mapas temáticos obtidos por meio de imagens de satélite fornecem informações quantitativas da dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo, bem como a constatação de possíveis transformações ambientais corroborando com futuras tomadas de decisões públicas para conservação e atividade agropecuária.

Para facilitar a interpretação das informações obtidas pelos sensores remotos utilizam-se índices que realçam o comportamento espectral de cada cultura, os mais conhecidos na literatura são: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI), Índice de Vegetação Normalizada Verde (“Green” NDVI) e o índice que é a razão entre o Verde e o infravermelho-próximo (GNIR).

Dentre os índices de vegetação, o que mais se destaca é o NDVI, que foi proposto por Rouse *et al.*, em 1973 com a série dos satélites da missão Landsat. O cálculo do NDVI é obtido pela razão entre a diferença da resposta espectral do pixel nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, e a somatória dessas duas bandas (FIGUEIREDO, 2005). O NDVI varia de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação e que o valor zero se refere aos pixels não vegetados. Dessa forma, para cada estágio que se encontra a vegetação (cultura) um determinado valor do NDVI (pixel) será atribuído, possibilitando avaliar a saúde daquela cultura (LOPES *et al.*, 2010).

### 2.2.3 Índices de Vegetação (IV) nas Três Principais Culturas Brasileiras

No contexto da produção agrícola nacional tem-se mostrado cada vez mais indispensável ao estudo, controle e planejamento da agricultura no País o uso de geotecnologias (dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento). Trabalhos de pesquisa vêm sendo executados em escalas local, regional e nacional, o que beneficia, entre outros aspectos, à capacidade e potencialidade produtiva de cada localidade a possibilidade de escoamento da produção em diferentes regiões. Além da informação de caráter quantitativo e qualitativo das culturas, (perímetro e áreas plantadas, colhidas e produtividade), o desenvolvimento de pesquisas desta natureza pode também resultar em vantagens de âmbito geopolítico ao desenvolvimento e estabelecimento da atividade agrícola. A aplicação dessa

geotecnologia à produção possibilita uma visão/perspectiva em que não mais impere uma verticalidade do ponto de vista da atuação dos órgãos públicos responsáveis pela gestão das atividades relacionadas à agricultura do país.

Entre as décadas de 1960-1990 a agricultura inicia uma caminhada histórica da principal atividade da economia nacional. Entre a colonização e a agroindústria, a configuração espacial da produção agrícola tornou-se mais ampla, e mais bem distribuída no território brasileiro. A agricultura de precisão, (iniciada no Brasil no final da década de 1980 e início da década de 1990), e a introdução de novas tecnologias às técnicas de cultivo; a incorporação de adaptações à agricultura familiar - de sustentabilidade produtiva, concorrencial e econômica - são alguns fatores que contribuíram de forma significativa para o aumento da produção. Não apenas do ponto de vista da produção, as monoculturas foram substituídas por plantações mais adaptadas às características de escala local e regional, como da circulação e demanda por produtos deste gênero.

Em 2005, o agronegócio respondeu por 27,9% do PIB nacional, 36,9% das exportações e 37% dos empregos. No mesmo ano a produção agrícola foi de aproximadamente 121,5 milhões de toneladas de grãos; 18 milhões de toneladas de carne; 16 milhões de toneladas de hortaliças; 38 milhões de toneladas de frutas; 3,7 milhões de toneladas de algodão, sendo que a produção de alimentos ocupa aproximadamente 282 milhões de hectares em todo o país (IBGE, 2019).

Nomeada de “agronegócio” a agricultura é entendida como um sistema de campo-mercado-população. Além da produção primária, o agronegócio compreende a indústria de insumos e máquinas e a oferta de serviços, assim como a indústria de processamento (agroindústria) e a comercialização, direta ou após o processamento, aos consumidores.

Dessa forma abordarei uma breve descrição das três principais culturas brasileiras (soja, cana-de-açúcar e café) que movem a economia do país com ênfase no uso de geotecnologias (sensoriamento remoto) na utilização de índices espectrais (índices de vegetação) para seu mapeamento e uso do solo.

### 2.2.3.1 Soja

Desempenhando um papel fundamental na agricultura nacional e internacional a produção brasileira de soja age com impactos diretos na economia mundial. Estima-se que a produção nacional de soja supere 113 milhões de toneladas, para a safra 2016/2017, número 18% superior à safra anterior, com valores médios de produtividade acima de 3300 kg/ha. Entretanto, é recorrente a ocorrência de secas durante o desenvolvimento da cultura, o que resulta em altas perdas de produtividade (FARIAS *et al.*, 2001). Perdas financeiras no Brasil decorrentes da ocorrência de seca no período de produção de soja entre as safras 1976/77 e 2013/14 totalizam mais de 79 bilhões de dólares (FERREIRA, 2017).

São muitos os esforços para utilização de ferramentas

alternativas capazes de prover informações específicas e confiáveis com relação ao estado das culturas agrícolas. Técnicas ligadas geotecnologia (sensoriamento remoto) surgem como instrumental de elevado potencial, tanto na coleta em campo, como no processamento das informações referentes às áreas agrícolas.

O uso correto de dados provenientes de imagens de satélites, drones e câmeras fotográficas estão condicionados principalmente pelas propriedades de refletância e absorção dos componentes da superfície e pelo comportamento da atmosfera (balanço de radiação). O processo de absorção e transmissão na atmosfera afeta as imagens em diferentes comprimentos de onda por espalhamento e refração da luz. Essa interação provoca alterações significativas na propagação da radiação proveniente de um alvo (SONG; WOODCOCK, 2003).

Entre as muitas técnicas de sensoriamento remoto os índices de vegetação (IVs), auxiliam no estudo de padrões das assinaturas espectrais e temporais da soja durante seu ciclo fenológico (diferentes estádios de desenvolvimento) e na relação com os fatores que condicionam o seu desenvolvimento e produção, como os atributos físicos do clima, solo e relevo. O conhecimento da distribuição espacial das deficiências no campo e o emprego das tecnologias auxiliam no manejo adequado, no uso de insumos de forma econômica e no rendimento de grãos (LÓPEZ-GRANADOS *et al.*, 2005).

Ao longo de muitos anos de operação do satélite Landsat 5, o sensor TM operou de forma satisfatória até o ano de 2011 (contribuindo com décadas de dados). Não obstante, o instrumento envelheceu, e suas características alteraram desde o seu lançamento, ocorrendo mudanças no calibrador interno dos instrumentos. O desenvolvimento de procedimentos para melhorar a calibração do sensor TM, fornece etapas de geoprocessamento aos usuários dos dados do Landsat 5 métodos e parâmetros para converter os dados da imagem, números digitais (NDs) para dados úteis, tais como radiância espectral, reflectância no topo da atmosfera (aparente) e estimativas da temperatura. Essas conversões fornecem melhor base para efetuar a comparação entre os dados das imagens adquiridas em diferentes datas (CHANDER; MARKHAM, 2003).

Diante disso, visando o monitoramento sazonal da vegetação algumas pesquisas envolvendo monitoramento agrícola por meio de imagens de satélite, drones e técnicas de agricultura de precisão exploraram as séries temporais dos índices de vegetação, a identificação e discriminação de diferentes espécies vegetais em diferentes biomas, ecossistemas e culturas. Neste contexto, o potencial dos IVs deflagra-se na capacidade de geração de informações acerca da distribuição espacial de grandes culturas agrícolas, servindo como suporte para a tomada de decisões governamentais e de todo setor.

Crusiol *et al.* (2017) conduziu experimentos na Embrapa Soja, no município de Londrina-PR na safra de 2016/2017.



Por meio do espectrorradiômetro Fieldspec 3 Jr, sensor hiperespectral com resolução espectral de 3 nm entre 350 e 1400 nm e de 30 nm entre 1400 e 2500 nm, foram realizadas medidas de reflectância de quatro cultivares. Simultaneamente, com uso de veículo aéreo não tripulado – VANT– modelo Tarot Iron Man 1000, equipado com oito motores (octocóptero), realizou-se o aeroimageamento das parcelas experimentais. Ao VANT foram acopladas duas câmeras digitais multiespectrais Fujifilm EXR S200, sensíveis à radiação do espectro visível (Vis) e infravermelho próximo (NIR). Assim, a partir das referidas imagens foram calculados os índices NDVI, GNDVI, BNDVI e EVI. Os autores por meio das avaliações espectrais realizadas, utilizando espectro radiômetro de campo e também sensores operados em nível aéreo, diferenciaram as condições hídricas de cultivares de soja.

Risso et al. (2009) analisou 30 segmentos de 30x30 km distribuídos sobre os principais pólos produtores de soja do Estado do Mato Grosso. Utilizaram da interpretação visual de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat-5, adquiridas na fase de máximo desenvolvimento vegetativo da soja na região, para a safra 2005/06.

A análise espectro-temporal dos IVs dos autores visando avaliar a capacidade de discriminação espectral das imagens do sensor MODIS para áreas de soja em relação a áreas de mata e de solo exposto mostrou que o NDVI é mais eficiente durante o período de entressafra, mais especificamente durante a fase de pré-plantio. Já, durante o período de safra, a separabilidade entre os alvos mostrou-se mais evidente para o EVI, particularmente no período de máximo desenvolvimento da soja.

Rizzi et al. (2009) estimaram uma área de soja no estado de Mato Grosso utilizando imagens compostas de 16 dias do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, com o produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 m, sob a forma do índice de vegetação denominado EVI (Enhanced Vegetation Index), proposto por Huete et al. (1997). O EVI foi formulado a partir de uma combinação de outros dois índices de vegetação: o SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index; Huete, 1988) e o ARVI (Atmosphere Resistant Vegetation Index; KAUFMAN; TANRÉ, 1992); tendo a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação.

A abordagem utilizada neste para a identificação das áreas de soja leva em conta o comportamento temporal do EVI sob o monitoramento da cultura ao longo do seu ciclo de crescimento e desenvolvimento e o calendário agrícola da região em estudo, esta metodologia é conhecida como CEI. O valor mínimo do EVI (MinEVI) para as áreas de soja ocorre na fase que antecede a semeadura ou quando a cultura ainda está em fase inicial durante a emergência. Neste período, a resposta espectral predominante é do solo exposto e os valores de EVI observados nas imagens são baixos. Já o valor máximo

do EVI (MaxEVI) é observado justamente durante a fase de máximo desenvolvimento da cultura, quando a resposta espectral é função, principalmente, da ampla cobertura do solo pela cultura e da elevada biomassa, o que implica em altos valores de EVI nas imagens.

Na análise comparativa das cinco safras estudadas, a estimativa da área de soja a partir das imagens MODIS, em nível estadual, mostrou boa concordância com os valores correspondentes oriundos da estatística oficial do IBGE.

A metodologia utilizada por Rizzi et al. (2009) demonstrou grande potencial para identificação, mapeamento e estimativa da área de culturas em grandes regiões de forma rápida e em tempo oportuno, particularmente aquelas culturas que possuem um calendário agrícola bem definido e conhecido, mesmo em regiões em que se verifica alta incidência de cobertura de nuvens durante a safra.

### 2.2.3.2 Cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, sendo que na safra 2015/2016 atingiu uma produção recorde de 665 milhões de toneladas, com 55% da produção total destinada a fabricação de etanol, chegando a 30,4 milhões de metros cúbicos (WALTER et al., 2011). O etanol de cana-de-açúcar é produzido no país desde o início do século XX, porém foi com incentivo governamental, através do PROALCOOL, nos anos 70 que houve um aumento na produção que durou até meados dos anos 90 (WALTER et al., 2011).

Além de ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, o Brasil é também o maior exportador de açúcar e o segundo maior produtor de etanol. O Centro-Sul do país é responsável por 90% do total da produção nacional, e o Estado de São Paulo é o maior produtor, respondendo por mais de 60% de toda a produção de açúcar e etanol da região. Metade do açúcar produzido é exportada e tem uma participação aproximada de 35% na balança comercial.

Além disso, a agroindústria sucroalcooleira representa 6% dos empregos brasileiros. A cana-de-açúcar é uma poácea e, em consequência de seu manejo, pode ser caracterizada como uma cultura semiperene, que permite de três a seis cortes para que posteriormente seja feita a reforma do canavial. Apresenta rápido crescimento, reprodução abundante e aproveitamento econômico de grande parte da planta. O ciclo fenológico da cultura é composto pelas fases de brotação, perfilhamento, crescimento e maturação (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2010).

Do plantio até a primeira colheita, a cana-planta pode ter um ciclo de desenvolvimento com duração de 18 meses (cana de um ano e meio) ou 12 meses (cana de ano), a depender da época e da região de plantio após a primeira colheita, a cana-soca passa a ter um ciclo de 12 meses e, a cada corte, ocorre a rebrota da soqueira e o início de um novo ciclo. No Estado de São Paulo, predominam os ciclos de produção da cana de ano e meio, plantada de janeiro a maio, e da cana de ano, plantada de setembro a dezembro, e a colheita estende-se de abril a

dezembro (FIGUEIREDO, 2010).

Os satélites de monitoramento ambiental vêm operando de forma sistemática nos últimos anos, provendo uma visão sinóptica e frequente de grandes áreas, a custos baixos. As imagens geradas pelos sensores orbitais têm características que possibilitam o estudo e a análise do ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas (BROWN *et al.*, 2013).

Duft e Picole (2018) testaram a eficiência dos índices de seca mais utilizados com imagens do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para monitorar eventos de seca em cana-de-açúcar no estado de São Paulo para quatro safras.

Foram selecionados oito índices espectrais que de acordo com os trabalhos levantados na literatura identificavam eventos de seca em áreas com vegetação. Esses índices foram calculados para os meses de outubro a abril das safras 2007/08, 2008/09, 2009/10 e 2013/14. Foram escolhidas essas safras por terem sido indicadas como seca, chuvosa, normal e anômala respectivamente.

Os autores concluíram que os índices espectrais mais significativos foram o GVMÍ e o NDI6 para a análise temporal, já para a análise espacial ainda é possível destacar o NDWI e o SRWI. Todos esses índices têm em comum o uso das bandas do infravermelho próximo e médio que em conjunto podem evidenciar os efeitos da seca. Já o EVI2, MSI e NDI7 não tiveram correlações com a maioria das amostras do estado, desta forma, pode-se concluir que não são índices indicados para monitorar seca em cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

Dorneles *et al.* (2018) avaliaram o perfil temporal do NDVI na cana-de-açúcar ao longo das fases de desenvolvimento fenológico da cana utilizando imagens de satélite LANDSAT 8 Sensor OLI em uma área de cultivo comercial de cana-de-açúcar da empresa Jalles Machado, no município de Vila Propício, Goiás. Foram utilizadas imagens captadas pelo sensor OLI LANDSAT 8, órbita 222-71 disponíveis ao decorrer de todo o ciclo da cultura. Em cada cena previamente selecionada foram realizadas transformações dos números digitais (ND) das bandas do vermelho (Banda 4) e infravermelho próximo (Banda 5) em reflectância. O índice de vegetação foi obtido a partir da metodologia proposta por Rouse *et al.* (1973).

Os autores concluíram que é possível caracterizar o comportamento da cana-de-açúcar durante suas fases fenológicas através do índice de vegetação NDVI, apresentando bons índices na fase de perfilhamento e uma redução na fase de crescimento vegetativo.

### 2.2.3.3 Café

A produção de café no Brasil exerce importante função econômica e social. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019), o Brasil é responsável por 32% da exportação mundial de café, sendo o sul do estado de Minas Gerais, a principal área produtora. Também conhecida

como região cafeeicultora de montanha, o cultivo de café no sul de Minas Gerais é bastante diversificado (variando de tamanho e na forma de produção), com destaque para o cultivo em pequenas propriedades.

As estimativas oficiais brasileiras das safras de café são realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela CONAB, que utilizam como base para o cálculo, informações declaradas de produção por parte de agricultores e técnicos agrícolas. Tal metodologia possui a desvantagem de adotar critérios subjetivos na fase de amostragem, o que pode enviesar a estimativa de produção.

Em função da demanda crescente de café no mercado nacional e do aumento da receita cambial gerada pela exportação, o aprimoramento de metodologias que fazem uso de critérios objetivos destinados à previsão de safra é fundamental para evitar especulações do mercado (MOREIRA *et al.*, 2010) e apoiar medidas que visem o planejamento agrícola e as tomadas de decisões. O sensoriamento remoto consiste numa das principais tecnologias de apoio aos estudos agrícolas, fornecendo informações valiosas a respeito da distribuição areal, das condições biofísicas e da dinâmica dos cultivares (BERNARDES *et al.*, 2012).

Tradicionalmente, o mapeamento do cultivo de café por meio de sensoriamento remoto apoia-se nos elementos de reconhecimento da fotointerpretação (CERON; DINIZ, 1966). Os mapeamentos gerados por meio da fotointerpretação, seja a partir de fotografias aéreas ou imagens de satélite, são bastantes eficientes devido à experiência que muitos especialistas possuem no reconhecimento destes alvos.

Uma das formas mais eficientes de monitoramento sazonal da vegetação, assim como seu crescimento vegetativo, é a utilização de índices de vegetação (IVs) (DANELICHEN *et al.*, 2016a) e índices agroclimáticos. Os mais tradicionais IVs que conseguem monitorar o vigor e a biomassa das plantas, segundo DANELICHEN *et al.* (2016), são o NDVI, o SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e o IAF (Índice de Área Foliar). Dentre os índices agroclimáticos, o que vem sendo amplamente utilizado é o ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água), calculado por meio de simulações do balanço hídrico.

Muitos trabalhos avaliam a resposta espectral do café plantado no sistema a pleno sol através dos IVs (DANELICHEN *et al.*, 2016b), mas poucos trabalhos monitoram e avaliam a cultura arborizada. Cocato da Silva *et al.* (2015) estudaram o cafezal no campus da UFPA, pertencente ao setor de cafeeicultura do Departamento de Agricultura. As medidas de NDVI e conteúdo foliar de clorofilas foram realizados semanalmente de fevereiro de 2014 a março de 2015 em 30 indivíduos de *Coffea arabica* L, cv Catuaí IAC 144 com 6 anos de idade. Para o NDVI foram medidas em três posições distintas: topo da copa: (NDVI<sub>t</sub>); e faces norte (NDVI<sub>n</sub>) e sul (NDVI<sub>s</sub>) através do sensor manual GreenSeeker (Trimble, USA).

Os autores concluíram que os dados de NDVI podem

ser utilizados para avaliar o desenvolvimento de cafeeiros no sul de Minas Gerais, no entanto ajustes na metodologia, principalmente, em relação a ângulo de visada do aparelho e amostragem das folhas para conteúdo de clorofila total.

Coltri et al. (2011) analisaram dados meteorológicos de 2004 a 2010 cedidos pela Fazenda da EPAMIG e imagens do satélite Landsat-5 dos dias de 2004 a 2010 da fazenda da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) localizada em São Sebastião do Paraíso, no sul de Minas Gerais. As imagens foram georreferenciadas e tratadas no software ENVI. Após a transformação dos números digitais (NDs) em valores de refletância real, foram calculados os índices NDVI e SAVI. Os autores concluíram que sistemas de cafezais arborizados apresentam maior biomassa que cafezais a pleno sol. Índices de vegetação e agroclimáticos para cafezais arborizados e a pleno sol são uma importante ferramenta para estudos da cafeicultura na nova perspectiva climática.

### 3 Conclusão

A identificação do uso dos índices de vegetação nas principais culturas brasileiras (soja, café e cana-de-açúcar) foi mais bem compreendida com a apresentação dos conhecimentos sobre sensoriamento remoto, geotecnologias e imagens de diferentes satélites. Estes conhecimentos auxiliaram no entendimento da resposta espectral de cada cultura, possibilitando assim uma melhor aplicação dos mapas de diagnóstico da vegetação.

Outros índices vegetação (SAVI e EVI) foram apresentados e destacados como metodologias alternativas para produção de mapas de vegetação das culturas, indicadores de saúde da cultura, além do convencional (NDVI). Esses índices surgem como segunda opção tendo em vista problemas com relevo da superfície, presença de névoas, e poluição atmosférica.

O NDVI mostrou ser o índice de vegetação mais utilizado no Brasil para estudos envolvendo mapeamento e diagnóstico de diferentes culturas cultivadas no país, sendo utilizado por diferentes autores com distintos satélites.

O estudo demonstrou também o Sensoriamento Remoto como técnica alternativa indispensável, viável e de baixocusto para estudos da agricultura no país no contexto atual, onde o uso de geotecnologia é primordial.

### Referências

ACCIOLY, L. J. O. *et al.* Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.492-498, 2002. doi: 10.1590/S1415-43662002000300019

ALMEIDA, C. M. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. *Arquitetura*, 2010.

ALVARENGA, B. S. *et al.* O Ensino de Conceitos e Práticas de Espectrorradiometria Laboratorial: Estudo de Caso Com Solos do Estado de São Paulo. *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 739-747, 2003.

ARAÚJO, G. K. D. *Determinação e mapeamento de início do ciclo para culturas de verão no estado do Paraná por meio de imagens de satélite e dados de precipitação*. 2010. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 2010.

BERNARDES, T. *et al.* Monitoring biennial bearing effect on coffee yield using MODIS remote sensing imagery. *Remote Sensing*, n. 4, p. 2492–2509, 2012. doi:10.3390/rs4092492

BROWN, J. C. *et al.* Classifying multiyear agricultural land use data from Mato Grosso using time-series Modis vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*, v.130, p.3950, 2013. doi: 10.1016/j.rse.2012.11.009.

CAMPOS, M. B. L. M. B.; DANELICHEN, V. H. M. Sensoriamento Remoto e Estudos de Clima Urbano. *ENSAIOS E CIÊNCIA*, v. 25, p. 195-199, 2021. doi: 10.17921/1415-6938.2021v25n2p195-199.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5/TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.11, p.2.764-2.677, 2003. doi: 10.1109/TGRS.2003.818464

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. O Uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 2, p. 161–173, 1966.

COCATO DA SILVA, L. *et al.* Uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação do desenvolvimento de Cafeeiros do Sul de Minas Gerais. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Curitiba-PR, 2015.

COLTRI, P. P. *et al.* Variação temporal da biomassa do café arábica arborizado e a pleno sol, através de índices de vegetação. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE p.0531.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. 2019<<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>>. Acesso em: 05 de abril 2019.

CONAB. Safra de café 2019. Disponível em: <[www.conab.gov.br/conteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos)>. Acesso em: 05 de abril 2019.

CRUSIOL, L.G.T. *et al.* Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento do déficit hídrico na cultura da soja. *XII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, p. 119-127, 2017.

DANELICHEN, V. H. M. *et al.* Uso do sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em floresta tropical. *Ciência e Natura*, v. 38, p. 1352 - 1360, 2016a. doi: 10.5902/2179460X19917

DANELICHEN, V. H. M. *et al.* Relations of vegetation and water indices to volumetric soil water content in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *International Journal of Remote Sensing (Print)*, v. 37, p. 4261-4275, 2016b. doi: 10.1080/01431161.2016.1213921

DANELICHEN, V. H. M. *et al.* Assessment of spectral indexes for estimating soil water content in the Brazilian Pantanal. *CIÊNCIA E NATURA*, v. 43, p. e48, 2021. doi: 10.5902/2179460X42724

DEMARCHI, J. C. *et al.* Análise Temporal do Uso Do Solo e Comparação Entre os Índices de Vegetação NDVI e SAVI No Município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP Usando Imagens Landsat-5. *RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise*, p. 234-271, 2011. doi: 10.5380/raega.v21i0.17416

DORNELES, M. M. *et al.* Variações do Normalized Difference Vegetation Index – NDVI durante o ciclo da cana-soca em cultivo convencional. v.2. *III CIPEEX - Ciência para a redução das desigualdades*, 2018.

DUFT, D. G., PICOLI, M. C. Uso de imagens do sensor MODIS para identificação da seca na cana-de-açúcar através de índices



- espectrais. *Revista Scientia Agraria*, v.19, p. 52-63, 2018. doi: 10.5380/ras.v19i1.54005
- EPIPHANIO, R. D. V. *Avaliação da potencialidade das imagens MODIS na estimação da área de soja no estado do Mato Grosso*. 2007-05-07. 102 p. (INPE-15190-TDI/1299). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/07.18.12.27>>. Acesso em: 04 jun. 2019.
- FARIAS, J. R. B. *et al.* Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n.3, p. 415-421, 2001
- FAO FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION – Faostat. Dados estatísticos sobre a produção mundial da soja. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Acesso em 5 de abril de 2019.
- FERREIRA, R. C. *Quantificação das perdas por seca na cultura da soja no Brasil*. 2017. 102f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- FIGUEIREDO, S. M. M. *Comparação entre técnicas de classificação digital de imagens Landsat no mapeamento do uso e ocupação do solo em Capixaba, Acre*. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 17p, 2005.
- FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto; 2005. Disponível: [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acesso em: 04 de junho de 2019.
- FLORENZANO, T. G. “*Iniciação em Sensoriamento Remoto*”. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, v.25, p.295-309, 1988. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-X
- HUETE, A. R. *et al.* A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, p.440-451, 1997. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00112-5
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemático-daprodução-agrícola.html>>. Acesso junho de 2019.
- LOPES, A. S. *et al.* Utilização de imagens de satélites e dados meteorológicos visando o monitoramento de mudanças climáticas. In: *III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife, PE., p. 001-004, 2010.
- LÓPEZ-GRANADOS, F. *et al.* Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, v. 23, n. 3, p. 279-289, 2005. doi: 10.1016/j.eja.2004.12.003
- MOREIRA, M. A. *et al.* Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 6, p. 1123–1135, dez. 2010. doi: 10.1590/S0100-69162010000600013
- MOREIRA, M. A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- NOVO, E. M. de M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo. Edgard Blucher. p. 308, 1989.
- PEREIRA, C. M. V. D. *et al.* Investigação do Uso de Parâmetros Biofísicos na Influência do Microclima Dentro de Áreas Urbanas. *ENSAIOS E CIÊNCIA*, v. 25, p. 16-20, 2021. doi:10.17921/1415-6938.2021v25n1p16-20
- PONZONI, F. J. *Comportamento Espectral da Vegetação*. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento remoto, refletância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.
- RISSO, J. *et al.* Potencialidade dos índices de vegetação EVIe NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 379-386.
- RIZZI, R. *et al.* Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 387-394.
- ROUSE, J. W. *et al.* Deering. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, p.309-317, 1973.
- SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. *Anatomia e botânica*. In: DINARDOMIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). *Cana-de-açúcar*. Campinas: IAC, 882p, 2010.
- SOARES, J. *et al.* Estudo da dinâmica espaço-temporal do NDVI no Município de Sorriso-MT. *REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA*, v. 13, p. 834, 2020. doi: 10.26848/rbgf.v13.2.p834-841
- SONG, C.; WOODCOCK, C.E. Monitoring Forest succession with multitemporal landsat images: factors of uncertainty. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, v.41, n.11, p.280-392, 2003. doi: 10.1109/TGRS.2003.818367
- WALTER, A. *et al.* Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change, GHG emissions and socio-economic aspects. *Energy Policy*, v. 39, n. 10, p. 5703-5716, 2011. doi: 10.1016/j.enpol.2010.07.043