

# MAPEAMENTO DA SOJA POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NOS MUNICÍPIOS DE LAGES E CAPÃO ALTO - ESTADO DE SANTA CATARINA

Marina Marly Dalla Betta<sup>(1)\*</sup>, Paulo César Poliseli<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Acadêmica do curso de Agronomia; Centro de Ciências Agrárias; Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC Rod. Admar Gonzaga, 1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

<sup>(2)</sup> Professor na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural/UFSC. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [paulo.poliseli@ufsc.br](mailto:paulo.poliseli@ufsc.br)

\*Autor correspondente - E-mail: [marinadallabetta@gmail.com](mailto:marinadallabetta@gmail.com)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi mapear a área plantada de soja nos municípios de Lages e Capão Alto através de técnicas de sensoriamento remoto nas safras 2012/2013 e 2020/2021. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat-7, Landsat-8 e Sentinel-2 e a identificação das áreas foi feita através de interpretação visual das imagens multitemporais submetidas a uma composição RGB que permitiu que a soja se destacasse em meio aos demais alvos da cena. Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com dados de monitoramento de safra realizado pela Epagri/Cepa, apresentando valores acima dos dados oficiais. Através do mapeamento, foi constatado um aumento de área de 13 mil ha entre as safras 2012/2013 e 2020/2021. O cruzamento das áreas de expansão de soja com classes de uso do solo mostraram que a conversão tem ocorrido, principalmente, sobre campos nativos. Além disso, o confronto com dados de altitude e declividade indicam que a expansão tem migrado para áreas mais altas e se mantido na classe de relevo suave-ondulada. O uso de técnicas de sensoriamento remoto permitiu o mapeamento das áreas de soja, através de uma metodologia possível de ser aplicada também em outros locais de estudo.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, soja, geotecnologias, monitoramento agrícola.

## SOYBEAN MAPPING THROUGH REMOTE SENSING TECHNIQUES IN THE MUNICIPALITIES OF LAGES AND CAPÃO ALTO - STATE OF SANTA CATARINA

### ABSTRACT

The main of this study was to map the soybean crop area in the municipalities of Lages and Capão Alto through remote sensing techniques in the 2012/2013 and 2020/2021 harvests. Landsat-7, Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images were used and the identification of the areas was made by visual interpretation of the multitemporal images submitted to a RGB composition that allowed the soybean to stand out among the other targets in the scene. The results obtained in this study were compared with crop monitoring data carried out by Epagri/Cepa, presenting values above the official data. Through the mapping, an increase in area of 13 thousand ha was found between the 2012/2013 and 2020/2021 harvests. The crossing of soybean expansion areas with land use classes showed that conversion has occurred mainly over native fields. In addition, the comparison with altitude and slope data indicates that the expansion has migrated to higher areas and remained in the smooth-wavy class. The use of remote sensing techniques allowed the mapping of soybean crop areas, through a methodology that could also be applied in other study areas.

**Keywords:** remote sensing, soybean, geotechnologies, agricultural monitoring

### INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*, L.) é uma planta originária da China e pertence à família Fabaceae, juntamente com a ervilha, feijão e lentilha. Nos últimos anos, a cultura da soja duplicou sua área de cultivo em todo o mundo devido à alta demanda do setor produtivo e ao crescimento mundial no consumo dessa leguminosa tanto por humanos quanto por animais (EMBRAPA, 2021).

No Brasil, a área cultivada entre os anos de 2010 a 2020 aumentou em 59% e a produção em 77,4%, representando mais de 53 milhões de toneladas em 2010, já em 2021 a produção alcançou 133 milhões de toneladas (IBGE/LSPA, 2021). Acompanhando a tendência da cultura no país, a área de cultivo em Santa Catarina também se mostrou crescente. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa

Catarina/Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola (Epagri/Cepa), entre as safras de 2012/13 e 2020/21, foram incorporados aproximadamente 180 mil ha na área plantada em todo o estado. Na safra 2020/21 a área cultivada já alcança cerca de 700 mil ha de cultivo (INFOAGRO, 2021). O Oeste Catarinense possui a maior área plantada de soja no estado, sendo que na safra 2012/2013 o grão ocupava um total de 178.560 ha e na safra 2020/2021 a área plantada alcançou 207.033 ha. De forma análoga, o Planalto Sul Catarinense, possuía uma área plantada de 36.440 hectares na safra 2012/2013, já em 2020/2021, o número passou para 70.330 ha, demonstrando um incremento significativo na área plantada nessa região.

Ainda segundo o Sistema Integrado de Informações Agropecuárias da Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca de Santa Catarina (InfoAgro), o município de Lages, além de ser o maior em extensão territorial do estado, também compreende o município com maior área plantada do Planalto Sul Catarinense. Já Capão Alto foi um dos municípios que apresentou um aumento significativo na área plantada de soja, passando de 1.800 ha para 6.500 ha nas safras 2012/2013 a 2020/2021, respectivamente. Juntos, os municípios de Lages e Capão Alto configuram um total de 18.500 ha de área plantada, mostrando um aumento de mais de 13 mil ha neste período de 8 anos.

A Epagri/Cepa é responsável pelo Sistema de Monitoramento de Safra Catarinense e faz o levantamento das informações sobre área plantada e produtividade das lavouras de Santa Catarina. O monitoramento é feito de modo declaratório, por meio de entrevistas que possibilitam o levantamento de informações através de informantes-chaves, localizados nas microrregiões de Santa Catarina, além de informações junto às cooperativas, agroindústrias e outros agentes econômicos do estado. Junto aos agentes, são atualizadas mensalmente as estimativas de área plantada, produção e rendimento médio por cultura. As informações são sistematizadas e divulgadas através do InfoAgro, um sistema integrado de informações que auxilia na tomada de decisão de produtores, entidades de pesquisa, técnicos, pesquisadores, consultores, governo, universidade e sociedade em geral (INFOAGRO, 2021).

Embora os dados fornecidos por órgãos oficiais sejam divulgados como informações confiáveis, o método declaratório utilizado para sua obtenção traz certa subjetividade às informações, deixando em aberto uma alternativa de se ter um método objetivo na obtenção desses dados (LUIZ, 2005). Com isso, o mapeamento com uso de imagens de satélite torna-se uma alternativa viável na obtenção de dados objetivos além de

poder ser utilizado para acompanhar o desenvolvimento da cultura nos diferentes estágios fenológicos. O sensoriamento remoto tem assumido papel categórico no desenvolvimento de ferramentas para a obtenção de estatísticas agrícolas confiáveis (CATTANI *et al.*, 2017), pois o caráter sinóptico, repetitivo e a agilidade na aquisição de dados, permitem o acompanhamento de culturas agrícolas ao longo de todo seu ciclo (CONRAD *et al.*, 2014).

O setor agrícola constitui uma grande área de estudo e aplicação de informações que podem ser obtidas através de imagens de satélite para monitoramento agrícola e baseado no conhecimento e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto é possível obter dados úteis para avaliar o *status* de plantações com precisão, sem a necessidade de amostragens e medições analíticas demoradas (CORTI, 2017). Além de exigir um menor custo operacional, o uso desta ferramenta proporciona a aquisição de informações a baixo custo e espacializadas, apresentando-se como uma alternativa factível em diversos trabalhos para mapeamentos agrícolas (SILVA *et al.*, 2017).

Rizzi e Rudorff (2005) mapearam e estimaram a área plantada de soja através de imagens de satélite Landsat-5 e Landsat-7 em municípios do Rio Grande do Sul, identificando as lavouras com base no comportamento espectro-temporal característico da cultura e encontraram uma diferença de 11,3% entre os dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e aqueles obtidos das imagens Landsat.

No meio-oeste dos Estados Unidos, uma das áreas agrícolas mais intensivas do mundo, Wang *et al.* (2020) mapearam soja e milho em 13 estados utilizando imagens do satélite Landsat junto à uma metodologia consistente envolvendo a plataforma *Google Earth Engine* e compararam com os dados gerados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). As técnicas de sensoriamento remoto mostraram um resultado menos ruidoso e mais homogêneo quando comparado aos dados do USDA, além de espacializar precisamente as áreas de soja e milho.

Zhong *et al.* (2014), além de mapearem soja e milho com imagens Landsat, em um condado no estado de Kansas, trouxeram extensibilidade ao trabalho, gerando resultados para o ano de 2006 a 2010. Isso foi possível pois as imagens orbitais permitiram criar um método de classificação baseado na fenologia da cultura. Foram utilizadas métricas fenológicas limitadas a um ano como dados de entrada para o treinamento de um algoritmo e a partir disso, foi possível mapear também os anos que se seguiram de forma frequente e sem a necessidade de coleta repetida de dados.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo mapear as áreas plantadas com a cultura da soja nos municípios de Lages e Capão Alto através de imagens do satélite Landsat e Sentinel-2, técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, nas safras 2012/2013 e 2020/2021. Os resultados serão confrontados com os dados atuais do monitoramento de safra que a Epagri/Cepa realiza. As análises comparativas devem fundamentar as estimativas da área de cultivo com maior precisão.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo compreende os municípios de Lages e Capão Alto (Figura 1) que juntos ocupam 40% do território da microrregião geográfica denominada Campos de Lages. Segundo a classificação climatológica de Köppen, essa microrregião apresenta clima mesotérmico úmido com predominância do tipo Cfb, temperado com verões amenos e sem estação definida. Os tipos de solos são Cambissolos, Argissolos e Latossolos com topografia predominantemente suave-ondulada, onde sua paisagem é na grande maioria ocupada por campos de altitude (campo nativo) com fragmentos de floresta ombrófila mista, destacando-se as matas de araucária (SDR, 2003).

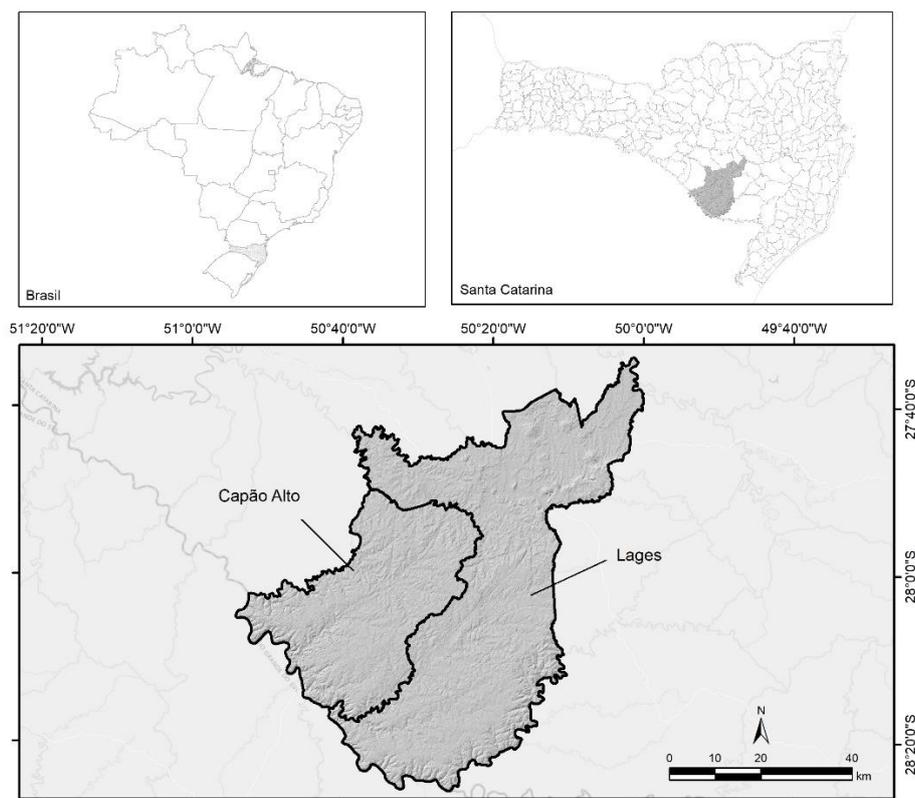


Figura 1. Localização dos municípios de Lages e Capão Alto no estado de Santa Catarina.  
Fonte: Autor (2021)

O Sistema de Informação Geográfica utilizado neste trabalho foi o Quantum GIS, um *software* completo com diversos recursos e funcionalidades como ferramentas para criação de mapas, ferramentas de digitalização e de análise espacial com dados vetoriais e imagens (VALIN, 2009). Foi utilizado o sistema de coordenadas planas, com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o sistema geodésico de referência SIRGAS 2000, no Fuso 22 do Hemisfério Sul. A fim de orientar e posicionar espacialmente a produção cartográfica, foi utilizada a Base Cartográfica de Referência do IBGE (2021) com estados, municípios e fusos do Brasil.

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat-7, Landsat-8 e Sentinel-2, com suas características descritas na Tabela 1. A resolução espacial é de 30 metros para o Landsat-7 e Landsat-8 e 10 metros para o Sentinel-2. Porém, com as bandas pancromática (B8) do Landsat-8 e do Landsat-7, ambas com 15 metros de resolução, foram geradas composições multiespectrais com a menor resolução através de técnicas de fusão de imagens.

Tabela 1. Especificações dos sensores e bandas espectrais dos satélites utilizados.

Satélite	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )
Landsat-7	ETM+ ( <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> )	Vermelho (B3)	0.63 - 0.69
		Infravermelho Próximo (B4)	0.77 - 0.90
		Infravermelho Médio (B5)	1.55 - 1.75
		Pancromática (B8)	0.52 - 0.90
Landsat-8	OLI ( <i>Operational Land Imager</i> )	Vermelho (B4)	0.63 - 0.67
		Infravermelho Próximo (B5)	0.85 - 0.87
		Infravermelho Médio (B6)	1.56 - 1.65
		Pancromática (B8)	0.50 - 0.67
Sentinel-2	MSI ( <i>MultiSpectral Instrument</i> )	Vermelho (B4)	0.64 - 0.68
		Infravermelho Próximo (B8)	0.76 - 0.90
		Infravermelho Médio (B11)	1.53 - 1.68

Fonte: Autor (2021)

Neste trabalho, foi feita a fusão de uma composição R5G6B4 com a Banda 8 do Landsat-8, fazendo com que a resolução espacial final das imagens resultasse em 15 metros, possibilitando uma melhor visualização de detalhes na imagem. O mesmo processo foi feito com as imagens do Landsat-7 através do algoritmo *Pansharpening*.

Para o Sentinel-2, embora a maioria das bandas tenham 20 metros, duas das três utilizadas possuem resolução espacial de 10 metros o que permitiu trabalhar com imagens de 10 metros de resolução logo após a combinação das bandas. Porém, ao se trabalhar com imagens orbitais, a presença de nuvens e sombras é inevitável (SILVA e LIPORACE, 2016), por isso o uso de imagens Landsat-7 e Landsat-8 foi feito quando não se conseguiu ter imagens Sentinel-2 livres de nuvens no período de estudo. A utilização de imagens obtidas pelo sensor ETM+ do satélite Landsat-7 também se fez necessária, pois o Sentinel-2 teve seu lançamento em 23 de junho de 2015 e um dos períodos analisados neste estudo trata-se dos anos de 2012 e 2013.

Outra característica importante das imagens é a resolução temporal, ou seja, o período de revisita do satélite em um mesmo local na superfície da terra. O Sentinel-2 possui resolução temporal de 5 dias, considerado esse um bom intervalo de tempo para o estudo do ciclo fenológico da soja que possui entre 90 e 160 dias (CAVALETT *et al.*, 2008). Já os satélites Landsat-7 e 8 possuem ambos um tempo de revisita de 16 dias.

Segundo dados da Epagri/Cepa, o plantio da soja inicia mais significativamente entre outubro e novembro, sendo essa a janela mais adequada para o plantio, conforme o zoneamento agroclimático da cultura para o estado. Entre janeiro e março, a cultura atinge

o estágio vegetativo pleno, e a colheita se inicia em março, estendendo-se até abril. As 47 imagens utilizadas no mapeamento buscaram representar todo o ciclo da cultura e por isso foram adquiridas em dois períodos: outubro de 2012 a abril de 2013 e outubro de 2020 a abril de 2021. A partir desses dados e com o auxílio do índice de vegetação, EVI (*Enhanced Vegetation Index*), foi possível identificar como a cultura se comporta espectralmente ao longo do ciclo conforme a Figura 3. Através desta análise temporal, foram escolhidas de forma estratégica as cenas utilizadas.

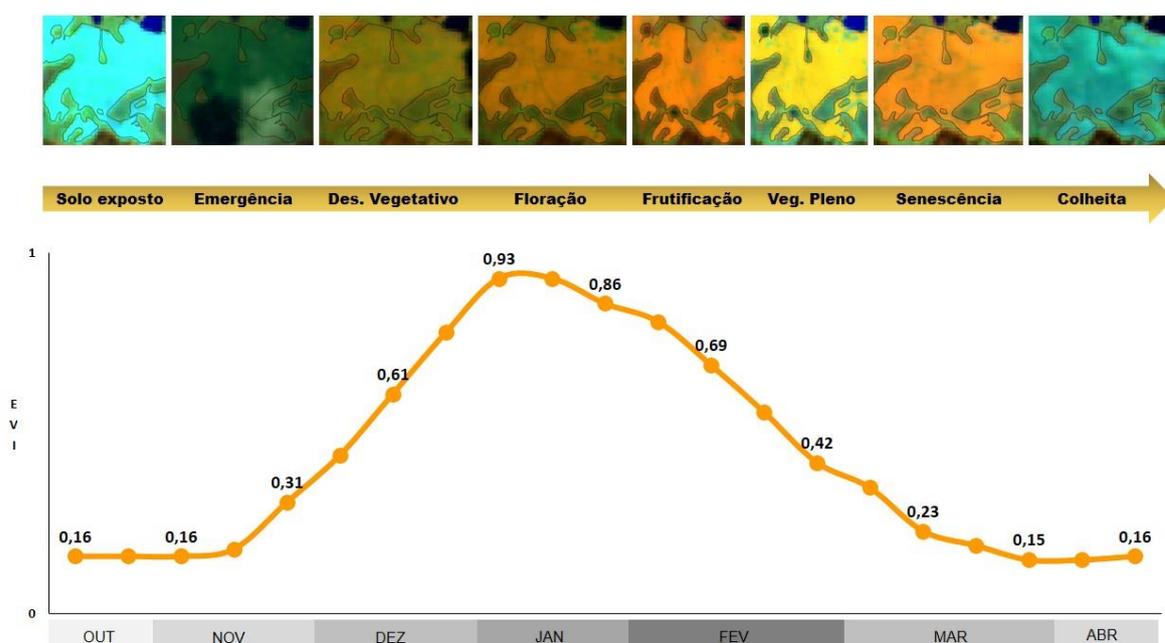


Figura 3. Comportamento espectral da soja ao longo dos estádios fenológicos de acordo com o índice vegetativo EVI. Fonte: Autor (2021)

Utilizou-se as órbitas/ponto 22JEQ e 22JEP do Sentinel-2 e 221/079 e 221/080 do Landsat-8. A composição utilizada para o sensor OLI foi R5G6B4 (infravermelho próximo - NIR, infravermelho médio - SWIR, vermelho - RED). Para o sensor MSI, a composição colorida utilizada foi a R8G11B4 e para o ETM+, a R4G5B3. O uso destas composições foram escolhidas diante de prévias análises destes sensores que são utilizados convencionalmente na distinção de culturas agrícolas (FORMAGGIO e SANCHES, 2017).

Foram selecionadas imagens datadas em 3, 8 e 18 de fevereiro em função da soja se destacar do restante da paisagem. Conforme a Figura 3, quando a soja alcança seu estágio vegetativo pleno, as composições coloridas já citadas permitem que a cultura se destaque em tons amarelados, sendo essa uma característica marcante e que possibilita a

diferenciação da lavoura de soja dos demais alvos na cena, como milho por exemplo. Ressalta-se que embora as imagens mais utilizadas para a identificação da cultura fossem as dos meses de fevereiro, foi necessário a aquisição de imagens de todo o ciclo da cultura para compreender os estádios fenológicos e assim estabelecer um comportamento único para essa cultura, permitindo diferenciá-la de outras classes agrícolas.

Foi utilizado o Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg) com o objetivo de visualizar o padrão da curva espectral do EVI e também observar como os estádios fenológicos se comportam espectralmente de acordo com o ciclo da cultura. O SATVeg é uma ferramenta WebGIS, de uso livre, destinada à observação e análise de perfis temporais de índices vegetativos por diferença normalizada e de realce de vegetação (NDVI e EVI), derivados de imagens de satélite geradas pelo MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), um sensor embarcado em dois satélites americanos, TERRA e AQUA com resolução espacial de 250 metros e período de revisita de 2 dias (NASA, 2006). O índice utilizado foi o EVI que expressa as variações da biomassa verde permitindo observar o comportamento da vegetação, e que contém um fator de correção o qual reduz a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (EMBRAPA, 2015). Também fez-se uso do filtro *Savitzky-Golay* que minimiza e elimina ruídos nas séries temporais do EVI sem modificar o padrão do perfil espectral do índice (ADAMI, 2010) e permite uma melhor visualização da curva padrão que representa o ciclo da cultura.

A última etapa do trabalho teve como objetivo investigar a conversão da cobertura do solo com a expansão da cultura, ou seja, sobre qual tipo de cobertura a soja foi implantada. Para isso, foram utilizados dados do MapBiomas (SOUZA *et al.*, 2020) onde foi possível verificar o tipo de cobertura anteriormente à ocupação da cultura da soja. Os dados produzidos a partir de imagens Landsat, com 30 m de resolução, disponibilizam mapas numa escala compatível com o presente trabalho. Também nesta etapa, a fim de verificar o relevo da região e dos talhões de soja, foi utilizado imagens do radar Alos/Palsar, com 12,5 m de resolução espacial, onde foram gerados atributos do terreno, como altimetria e declividade do terreno, conforme as classes da Embrapa (1999), sendo elas: 0 a 3% (plano), 3 a 8% (suave ondulado), 8 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado), 45 a 75% (montanhoso) e 75 a 100% (escarpado).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir da metodologia utilizada com as imagens Sentinel-2, Landsat- 7, Landsat- 8, e MODIS foi possível identificar, quantificar e comparar as áreas de soja para as safras 2012/2013 e 2020/2021, conforme demonstrado na Figura 4. Em 2012/2013, o município de Capão Alto apresentou 1.915 ha, enquanto que em Lages a área foi de 4.285 ha. Segundo a Epagri/Cepa, na safra 2012/2013, Capão Alto possuía uma área de 1.800 ha e Lages, 3.240 ha de soja. Já na safra 2020/2021, o mapeamento resultou em uma área de 6.445 ha no município de Capão Alto e em Lages a área mapeada foi de 13.258 ha. Segundo os dados da Epagri/Cepa, para a safra 2020/2021, Capão Alto possui uma área de 6.500 ha e Lages 12.000 ha de soja.

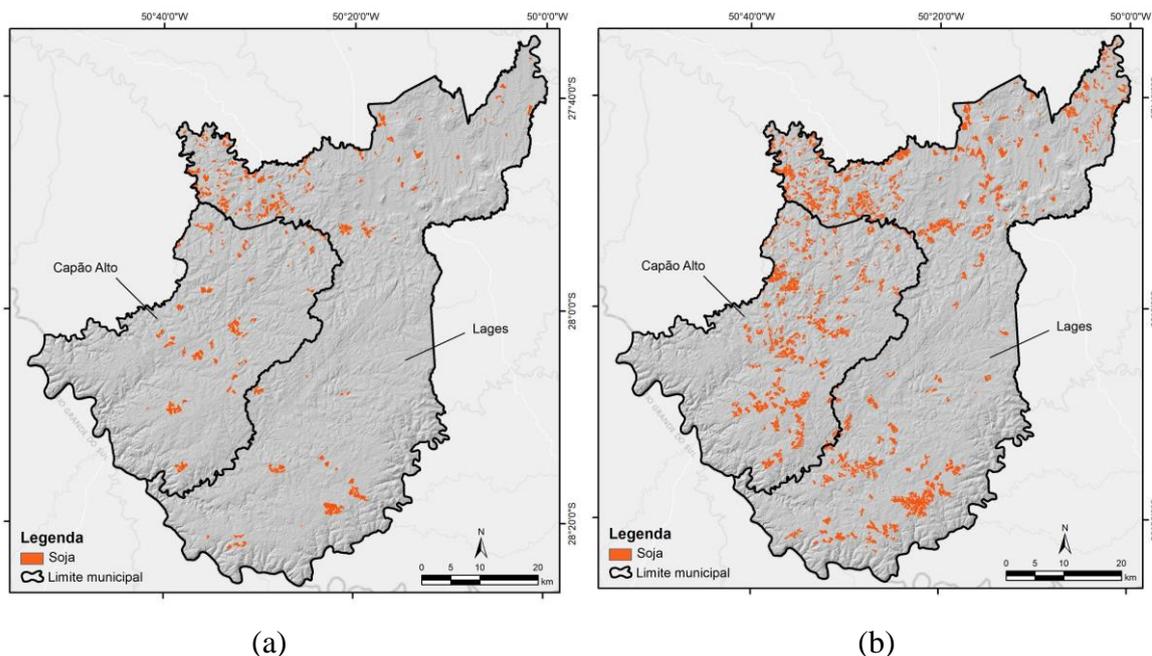


Figura 4. Mapa com a distribuição de soja na safra 2012/2013 (a) e 2020/2021 (b). Fonte: autor (2021)

Conforme apresentado na Figura 4, a área de 1.915 ha mapeada na safra 2012/2013 no município de Capão Alto representa 6% a mais em relação aos dados oficiais. De forma análoga, no município de Lages o valor de 4.285 ha representa 32% a mais em relação aos dados da Epagri/Cepa. Já na safra de 2020/2021, o mapeamento resultou num valor de 0,5% a menos para o município de Capão Alto, enquanto que em Lages o número obtido pelo mapeamento foi maior que o dado oficial, representando um valor 10% acima neste

município. No que se refere à área total, em 2012/2013 a soja ocupava 6.200 ha por meio do mapeamento, e 5.040 ha segundo a Epagri/Cepa, uma diferença de 1.160 ha (23%) maior do que a área indicada pelos dados oficiais. Em 2020/2021 a soma das áreas dos municípios obtida pelo mapeamento de 19.703 ha também aponta para números maiores quando comparados àqueles informados pela Epagri/Cepa, 18.500 ha, uma diferença de 1.203 ha (6%).

Segundo a Epagri/Cepa, 2012/2013 foi a primeira safra a compor a série de acompanhamento sistemático da produção dos principais produtos agrícolas no estado de Santa Catarina. Com isso, as informações de área plantada nesse período foram baseadas em dados oficiais do IBGE, enquanto que a metodologia de monitoramento de safras ainda estava sendo estruturada na safra em questão sendo consolidada apenas no ano seguinte. Esse fato pode ajudar a explicar a diferença significativa de 23% a mais encontrada na área mapeada na safra de 2012/2013 uma vez que o acompanhamento de safra realizado pela Epagri/Cepa conta com uma metodologia específica para os municípios de Santa Catarina enquanto que os dados oficiais do IBGE são realizados para todo o Brasil.

Em 2020/2021, a diferença de 6% encontrada a mais na área mapeada pode ser comparada com um resultado semelhante encontrado no trabalho de Song *et al.* (2017) que fez a estimativa de área da soja em escala nacional para os Estados Unidos utilizando imagens do sensor MODIS e encontrou um resultado 1,9% maior que a estimativa divulgada pelo USDA.

Diferenças ainda mais expressivas entre dados oficiais e dados obtidos através do uso de técnicas de sensoriamento remoto foram mostradas no trabalho de Paludo *et al.* (2020) que fez o mapeamento da área plantada de soja para o estado do Paraná com imagens Landsat-8 e Sentinel-2 e obteve uma diferença de 20% na área total do estado mapeada em relação aos dados oficiais do IBGE. O trabalho também analisou as áreas obtidas pelo mapeamento dentro de cada mesorregião do estado, encontrando porcentagens tanto negativas quanto positivas. Outro trabalho que encontrou diferença para dados oficiais foi o de Johann *et al.* (2016) que estimou as datas de plantio, desenvolvimento vegetativo e colheita da soja no estado do Paraná por meio de séries temporais de imagens do sensor MODIS. Os dados foram confrontados com as informações de safra divulgadas pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB/Deral) do Paraná que também faz o levantamento de estimativa de safras através de metodologias indiretas e que levam em

conta aspectos subjetivos não permitindo uma análise quantitativa nem o conhecimento da distribuição espacial das culturas (JOHANN *et al.*, 2012).

Métodos de classificação automática para a identificação das diferentes classes de uso do solo normalmente são menos precisos quando comparados aos procedimentos visuais (RUDORFF e RIZZI, 2005). Em função disso, a classificação visual utilizada neste estudo se apresentou necessária e ao mesmo tempo eficiente para a identificação da soja visto que as áreas de soja nos municípios de Lages e Capão Alto caracterizam-se em alguns casos por pequenos talhões. A composição RGB utilizada auxiliou a destacar a soja e permitiu realizar um mapeamento condizente com a realidade existente nas lavouras mesmo não havendo um trabalho de campo. Rudorff e Rizzi (2005) fizeram o uso da interpretação visual na composição R4G5B3, e concluíram em seu trabalho que a condição particular com que a soja se apresenta nas imagens minimiza a possibilidade de erro por parte do intérprete e, conseqüentemente, resulta num dado condizente com a realidade. Além da interpretação visual vir sendo utilizada em diversos trabalhos para o mapeamento de culturas agrícolas, a sua assertividade tem sido comprovada. Um exemplo disso é o trabalho de Grzegorzewski *et al.*, (2016) que compararam os dados obtidos no mapeamento de áreas de soja no Paraná com o mapa gerado através de interpretação visual e analisaram a variação do índice kappa ( $\kappa$ ), um coeficiente estatístico utilizado para medir a concordância entre dados categóricos (CONGER, 2017). Para a soja, o índice  $\kappa$  variou entre 0,74 na safra 2012/2013 e 0,75 na safra 2013/2014 considerada muito bom ( $0,60 < \kappa \leq 0,80$ ) segundo a classificação de Landis e Koch (1977).

Os dados de área plantada da Epagri/Cepa apresentam um aumento de 13 mil ha entre as safras 2012/2013 e 2020/2021, dado esse que foi comprovado através do mapeamento, como pode ser observado na figura 4. Segundo a Comissão Europeia, a projeção entre 2019 e 2030 é que a demanda pela soja continue crescendo, principalmente por se tratar de uma fonte de proteína e além disso, participar em grande parte de compostos de ração animal fornecida aos grandes produtores de carne, lembrando que Santa Catarina é o principal produtor de carne suína e o segundo maior produtor de aves do Brasil (SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DA PESCA DE SANTA CATARINA, 2021). Além disso, as projeções do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos para 2029 preveem uma demanda global contínua por óleo de soja para a produção de biodiesel (RADOČAJ *et al.*, 2020).

A expansão da soja atestada através do mapeamento mostra que a área plantada dessa cultura em Santa Catarina vem acompanhando essas tendências mundiais, exemplificado neste trabalho pelos municípios de Lages e Capão Alto e que o avanço das áreas de soja tem ocorrido principalmente sobre áreas de campo nativo, como demonstrado na figura 5, onde uma imagem Landsat-7 de 2013 (a) é comparada com uma imagem Sentinel-2 de 2021 (b), sendo possível observar a expansão da cultura da soja.

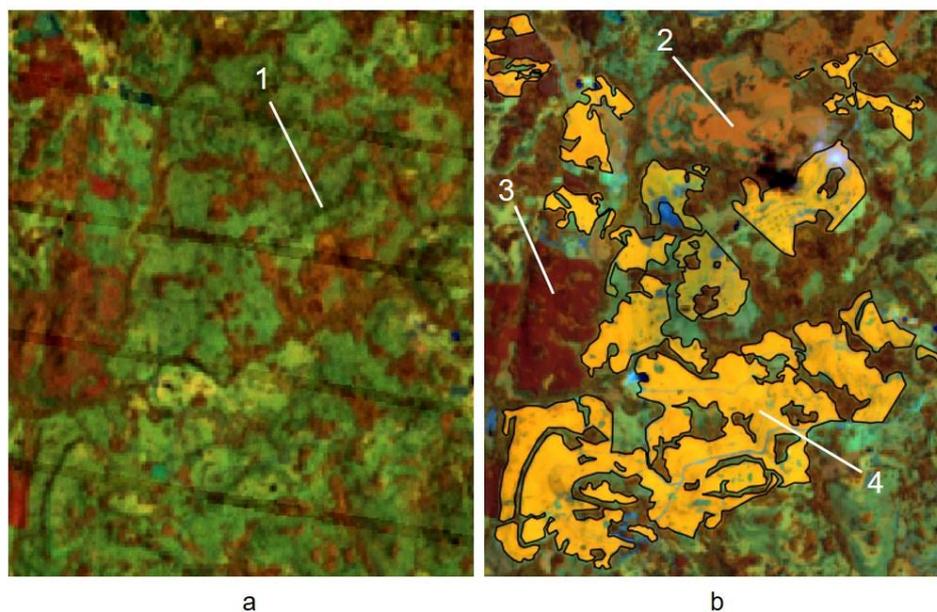


Figura 5. Imagem Landsat-7 da safra 2012/2013 (a) e Sentinel-2 da safra 2020/2021 (b) com resposta espectral da campo nativo (1), milho (2), silvicultura (3) e soja (4).

Dados obtidos através do cruzamento das áreas de expansão de soja com as classes de ocupação do uso do solo do MapBiomas demonstram que 72% da área convertida em soja na safra 2020/2021 era formação campestre (campo nativo) em 2012/2013 (Figura 6). Isso demonstra também uma tendência de crescimento sobre essas áreas para os próximos anos visto que a soja tem sido a principal cultura responsável por converter campos naturais em lavouras (POLÊSE, 2014). Nota-se ainda que 12% da expansão da soja ocorreu sobre pastagem plantada, seguidos de 8% de mosaico de agricultura e pastagem, 4% sobre silvicultura e 4% floresta (Figura 6).

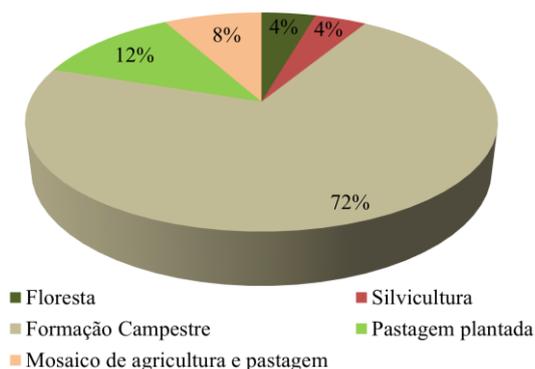


Figura 6. Conversão das áreas de expansão de soja entre as safras 2012/2013 e 2020/2021.

Fonte: autor (2021)

Também foram analisados em quais níveis de altitude e declividade a expansão vem acontecendo (Figura 7). Na safra 2012/2013, 40% das áreas no município de Lages estavam localizadas em altitudes entre 800-900 m e 17% estavam entre 1.000-1.100 enquanto que em 2020/2021 apenas 30% das áreas localizavam-se em altitudes entre 800-900 e 25% ocuparam áreas entre 1.000-1.100 m apresentando um deslocamento das áreas de expansão para locais mais altos. Em Capão Alto esse comportamento se repete pois na safra 2012/2013, 61% das áreas encontravam-se em altitudes entre 900-1.000 m e 34% entre 1.000-1.100 m enquanto que em 2020/2021, 50% ficou entre 900-1.000 m e 45% entre 1.000-1.100 m.

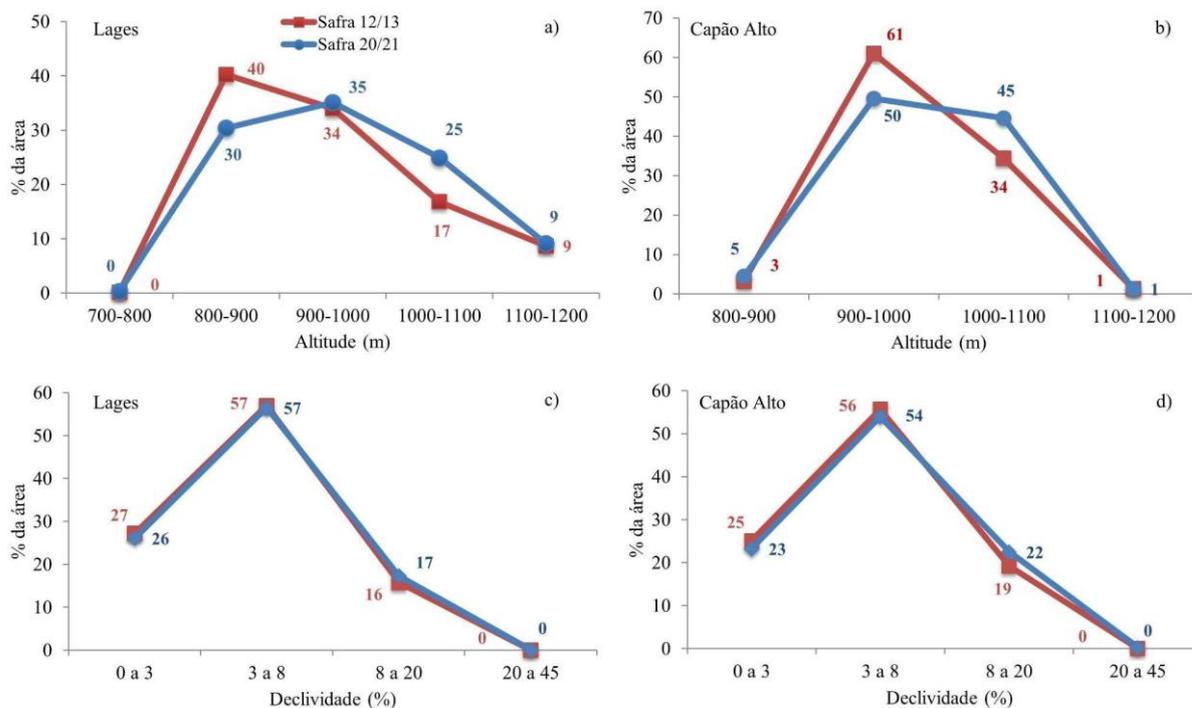


Figura 7. Variação de altitude e declividade das áreas de soja entre as safras 2012/2013 e 2020/2021 para os municípios de Lages e Capão Alto. Fonte: Autor (2021)

Segundo Conte *et al.* (2019), a maior parte das áreas produtoras de soja em Santa Catarina tem uma altitude relativamente elevada, acima de 600 metros. Conforme aumentam os níveis de altitude, a temperatura diminui proporcionalmente sendo um fator climático responsável por influenciar tanto nos estágios vegetativos quanto reprodutivos da planta (EMBRAPA, 2021). A diminuição da temperatura exige cultivares adaptadas a essa condição uma vez que a contagem de graus dias pela planta ocorrerá de forma mais lenta, tornando o ciclo mais longo. Quanto a declividade, percebe-se que a expansão das áreas de soja manteve-se entre valores de 3 a 8% indicando que a expansão buscou se manter em áreas que facilitam a mecanização.

## CONCLUSÕES

O estudo permitiu o mapeamento das áreas cultivadas de soja utilizando sensoriamento remoto, bem como comparar os resultados de estimativa de área realizada pela Epagri/Cepa. A maioria dos resultados obtidos neste trabalho mostraram-se superiores aos dados divulgados pela Epagri/Cepa. Na safra de 2012/2013 em Lages e Capão Alto o

mapeamento apresentou uma diferença de 23% a mais em relação aos dados da Epagri/Cepa e na safra de 2020/2021 a diferença foi de 6%.

A partir deste estudo, foi possível reconhecer que as técnicas de sensoriamento remoto juntamente com as imagens orbitais podem fornecer informações e conhecimentos relevantes à cultura da soja no estado de Santa Catarina, além de auxiliar e compreender os resultados da safra. Os dados podem produzir subsídios para o monitoramento e acompanhamento sistemático de safra realizado pela Epagri/Cepa, bem como na formulação das políticas agrícolas e suas informações auxiliam na tomada de decisão para a Secretaria de Estado da Agricultura, os agentes econômicos e produtores rurais. A metodologia utilizada pode ser replicada para outros municípios e fazer parte da estratégia de qualificação das estatísticas agrícolas, e principalmente da redução da assimetria da informação.

## **REFERÊNCIAS**

ADAMI, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens MODIS**. 2010. 163p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

CATTANI, C. E. V. *et al.* Spectral-temporal characterization of wheat cultivars through NDVI obtained by terrestrial sensors. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 769-773, 2017.

CAVALETT, O. **Análise do ciclo de vida da soja**. 2008. 234p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

CONGER, A. J. Kappa and rater accuracy: Paradigms and parameters. **Educational and psychological measurement**, v. 77, n. 6, p. 1019-1047, 2017.

CONRAD, C. *et al.* Derivation of temporal windows for accurate crop discrimination in heterogeneous croplands of Uzbekistan using multitemporal RapidEye images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 103, p. 63-74, 2014.

CONTE, O. *et al.* A Evolução da Produção de Soja na Macrorregião Sojícola 1 (MRS1). **Diagnóstico da Produção de Soja na Macrorregião Sojícola**, v. 86001, p. 23, 2019.

CORTI, M. **Multispectral and Hyperspectral sensing for Nitrogen Management in Agriculture**. Università Degli Studi di Milano. Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja**. 2021. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fb123vmz02wx5eo0sawqe3vtdl7vi.html>>. Acesso em 20 jul. 2021.

EPAGRI/CEPA. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. **Síntese Anual da Agricultura Catarinense**. Soja. Disponível em: <[https://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/Sintese\\_2019\\_20.pdf](https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2019_20.pdf)>. Acesso em 28 ago. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. EU Agricultural Outlook. For Markets and Income 2019 - 2030. Agriculture and Rural Development. **European Commission**. 2019. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agricultural-outlook-2019-report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agricultural-outlook-2019-report_en.pdf)>. Acesso em 17 ago. 2021.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I.D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. 1a ed. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 285. (ISBN: 978-85-7975-277-3, eISBN: 978-85-7975-282-7) (In Portuguese), 2017.

GRZEGOZEWSKI, D. M. *et al.* Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná, Brazil, using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 6, p. 1257-1275, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Downloads. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>. Acesso em: 01 jul. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 15 jun. 2021.

INFOAGRO. **Sistema Integrado de Informações Agropecuárias**. 2021. Disponível em: <<https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-vegetal>>. Acesso em 17 ago. 2021.

JOHANN, J. A.; ROCHA, J.V.; DUFT, D.G.; LAMPARELLI, R. A. C. **Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, n.9, p.1295-1306, 2012.

JOHANN, J. A. *et al.* **Uso de Imagens Do Sensor Orbital Modis Na Estimação de Datas Do Ciclo de Desenvolvimento Da Cultura Da Soja Para o Estado Do Paraná - Brasil**. Engenharia Agrícola 36 (1): 126–142. doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric. v36n1p126-142/2016., 2016.

Landis, J. R., Koch, G. G. **The measurement of interobserver agreement for categorical data**. Biometrics, 33, 159-174, 1977.

LUIZ, A. J. B. Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Simpósio

Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 3., 2005, Goiânia/GO. Anais. Goiânia/GO: INPE, 2005. p. 181-188., 2005.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

PALUDO, A. *et al.* Mapping summer soybean and corn with remote sensing on Google Earth Engine cloud computing in Parana state - Brazil. **International Journal of Digital Earth**, v. 13, n. 12, p. 1624-1636, 2020.

POLÊSE, C. **Coxilha rica: subsídios a uma proposta de conservação para o sul do município de Lages-SC**, 2014.

RADOČAJ, D. *et al.* Optimal soybean (*Glycine max* L.) land suitability using gis-based multicriteria analysis and sentinel-2 multitemporal images. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1463, 2020.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, 2005.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural, 2021. Disponível em: <<https://www.sc.gov.br/noticias/temas/agricultura-e-pesca/santa-catarina-ultrapassa-us-1-5-bilhao-com-exportacoes-de-carnes-no-primeiro-semester>>. Acesso em 08 ago. 2021.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional - Lages. **Caracterização Regional - Lages**. Disponível em:<[http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/diagnostico/LAGES.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/LAGES.pdf)>. Acesso em 15 jul. 2021.

SILVA, L. C. A. *et al.* Algoritmos de Aprendizado de Máquina para classificação de soja em imagens Landsat-8. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 3, p. 65-78, 2017.

SILVA, M. A. O.; LIPORACE, F. S. Detecção automática de nuvem e sombra de nuvem em imagens de sensoriamento remoto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, p. 369-388, 2016.

SONG, X. P. *et al.* National-scale soybean mapping and area estimation in the United States using medium resolution satellite imagery and field survey. **Remote sensing of environment**, v. 190, p. 383-395, 2017.

SOUZA, C.M., Jr *et al.* Z. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, 2020, 12, 2735, 2020.

USDA. United States Department of Agriculture. **Agricultural Projections to 2029**.

Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=95911>>.

Acesso em 21 ago 2021.

VALIN, M. M. **Uso de softwares livres para o desenvolvimento de sig web de acessibilidade a atrativos turísticos: estudo de caso da cidade de Campinas-SP**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

WANG, S. *et al.* Mapping twenty years of corn and soybean across the US Midwest using the Landsat archive. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2020.

ZHONG, L.; GONG, P.; BIGING, G. S. Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: A multi-year experiment using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, p. 1-13, 2014.