

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE CACHOEIRA DO SUL
ENGENHARIA AGRÍCOLA

Rovany André Militz

**IDENTIFICAÇÃO DE DESUNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO EM PIVÔ
CENTRAL COM A UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Cachoeira do Sul, RS
2022

Rovany André Militz

**IDENTIFICAÇÃO DE DESUNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO EM PIVÔ
CENTRAL COM A UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Ezequiel Saretta
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega

Cachoeira do Sul, RS
2022

Rovany André Miltz

**IDENTIFICAÇÃO DE DESUNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO EM PIVÔ
CENTRAL COM A UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito para a obtenção do título de **Bacharel em Engenheiro Agrícola**.

Aprovado em 29 de julho de 2022.

Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)

Heloísa de Gois, Eng. Agric.

Cachoeira do Sul, RS
2022

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida, que me guardaram durante minha trajetória e iluminaram minhas decisões.

Aos meus pais, Rozane e Paulo, que me propiciaram todas as condições necessárias para chegar aqui, e por todo amor, carinho e dedicação a mim. Essa conquista é de vocês!

A minha irmã, Mari Lúcia, por todo apoio e incentivo. Essa conquista também é sua!

Ao meu padrinho, Odilon José Hasselein, por todo apoio e incentivo.

Ao meu orientador, Ezequiel Saretta, pelo conhecimento transmitido, experiências vividas e pela oportunidade de poder ser seu orientado durante a vida acadêmica.

Aos professores, Tiago Rodrigo Francetto e Eduardo Leonel Bottega, pelos conselhos e experiências proporcionadas.

Aos professores do curso de Engenharia Agrícola da UFSM - Campus Cachoeira do Sul, pelos conhecimentos proporcionados.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela infraestrutura e ensino público de qualidade.

Aos meus colegas e amigos, pelas trocas de conhecimento e os bons momentos vividos.

Aos colegas do grupo de pesquisa, pelo auxílio necessário na realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

“[...] Não te preocupa com o que pensam de ti, mas sim com tua consciência, o homem é o que é, e não aquilo que qualquer um pensa [...]”.

(Mano Lima)

RESUMO

IDENTIFICAÇÃO DE DESUNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL COM A UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO

AUTOR: Rovany André Militz
ORIENTADOR: Ezequiel Saretta

Dentre os sistemas de irrigação existentes atualmente, o sistema de pivô central tem destaque, devido a sua capacidade de área irrigada e potencial de distribuição uniforme da água. Por outro lado, a desuniformidade de distribuição de água afeta o rendimento das culturas, podendo ter áreas com déficit ou excesso de umidade. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi detectar desuniformidade de aplicação em pivô central com o auxílio de sensoriamento remoto na região de Cachoeira do Sul - RS. O monitoramento foi realizado usando imagens multiespectrais na plataforma do satélite Sentinel-2, adquiridas no plugin "Semi-Automatic Classification Plugin" (SCP) do aplicativo Qgis. As imagens utilizadas para determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram obtidas para o período entre outubro e abril, dos anos agrícolas 2018 a 2022. Devido à restrição imposta para cobertura de nuvens na cena, ou por saturação do NDVI, obtiveram-se apenas cinco imagens para todos os anos analisados. A partir dessas imagens, foi possível detectar desuniformidade de aplicação ao longo da linha lateral do pivô, formando circunferências de excedente ou déficit de aplicação, resultando em diferentes valores de NDVI na área irrigada. Para confirmação de possíveis problemas relacionados à máquina, realizou-se levantamento de campo, com mapeamento de bocais e válvulas em todo pivô central. Identificaram-se bocais com diâmetro superior ao recomendado, de acordo com o mapeamento de bocais realizado. Com isso, as faixas com excedente de aplicação para o período foram o resultado de uma vazão excessiva nesses bocais. Portanto, o sensoriamento remoto foi eficaz para indicar faixas de desuniformidade no pivô central, podendo inclusive ser utilizado para indicar possível necessidade de manutenção.

Palavras-chave: Irrigação. NDVI. Distribuição de água.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF NON-UNIFORMITY APPLICATION IN CENTER PIVOT USING OF REMOTE SENSING

AUTHOR: Rovany André Militz

ADVISOR: Ezequiel Saretta

Among the existing irrigation systems nowadays, the center pivot system has gained prominence due to its irrigated area capacity and potential of uniform distribution. Conversely, disuniformity of water distribution effect crop yield, and may have areas with deficit or excess of humidity. In this context, the objective of this study was to detect application disuniformity in center pivot with the aid of the remote sensing in the region of Cachoeira do Sul - RS. The monitoring was carried out using multispectral images on the Sentinel-2 satellite platform, acquired in the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) of the Qgis application. The images used to determine the normalized difference vegetation index (NDVI) were obtained for the growing seasons from October to April, for 2018 to 2022. Due to a restriction imposed to cloud covering in the scene, or NDVI saturation, only five images were obtained for all the analyzed years. From these images, it was possible to detect application disuniformity along the center pivot's lateral line, forming circumferences of excess or deficit of application, resulting in different values of NDVI on the irrigated area. To confirm possible problems related to the machine, a field investigation was carried out to map nozzles and valves on the entire center pivot. It was verified nozzles with a bigger diameter than the recommended value, according to the nozzle mapping. Thus, the bands with excess of application in the period were a result of excessive flow rates from these nozzles. Therefore, the remote sensing was effective to indicate disuniformity in the center pivot, even presenting limitations such as NDVI saturation in final phenological phases of the crop.

Keywords: Irrigation. NDVI. Water distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudo.....	15
Figura 2. Imagens NDVI para o pivô central em estudo, após recorte com polígono da área encharcada	17
Figura 3. Mapeamento dos diâmetros de bocais.....	19
Figura 4. Válvulas de regulação do pivô central	19
Figura 5. Placas defletoras do pivô central.....	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

A irrigação está presente na produção agrícola desde as antigas civilizações, que se desenvolveram em regiões secas como no Egito e na Mesopotâmia. No Brasil, as práticas de irrigação se desenvolveram inicialmente no Rio Grande do Sul na década de 1900, para a produção de arroz; enquanto que nas demais regiões do país, essa prática teve uma significativa expansão a partir das décadas de 1970 e 1980 (ANA, 2019).

Dentre os sistemas de irrigação existentes atualmente, o pivô central tem destaque, especialmente pela capacidade de distribuição uniforme da água, possibilidade de automação, adaptação a diferentes tipos de solo e irrigação de grandes áreas (EVANS, 2001). Desenvolvido nos Estados Unidos da América, foi considerado pela “Scientific American” uma grande inovação no setor desde a substituição da tração animal pelos tratores (MADER & KAN, 2010).

A necessidade de irrigação varia de acordo com as condições climáticas de cada região. Em regiões afetadas por escassez de chuvas, a irrigação é fundamental, pois a agricultura somente se viabiliza mediante a aplicação artificial de água. Em regiões afetadas por escassez em períodos específicos do ano, como no caso do Rio Grande do Sul, a irrigação é utilizada para suplementar a água necessária para a cultura, visando um máximo potencial produtivo. Ao se implantar um sistema de irrigação por pivô central, visa-se proporcionar condições para aumentar a produtividade. Nesse aspecto, desuniformidade de aplicação de água tem efeito no rendimento das culturas, podendo ter áreas com déficit e áreas com excesso de umidade, e no aproveitamento da água e de energia.

Para se mensurar a uniformidade de aplicação de um pivô central com métodos tradicionais, uma quantidade de fatores pode influenciar nas avaliações. Com isso, o emprego de sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta de avaliação, relacionando a resposta na cultura com problemas de operação do sistema de irrigação. O sensoriamento remoto compreende um conjunto de ferramentas para obter informações sobre alvos dentro da superfície terrestre utilizando sensores sem contato físico, registrando suas interações com a radiação eletromagnética (JENSEN & EPIPHANIO, 2011; FORMAGGIO & SANCHES, 2017).

Dentre as ferramentas do sensoriamento remoto, existem atualmente uma gama de índices que resultam da interação da radiação com a vegetação. Um deles é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o mais comum entre os índices (EARTH OBSERVING SYSTEM, 2022), englobando a biomassa fotossinteticamente ativa das plantas.

No entanto, uma de suas desvantagens é a sensibilidade à luminosidade do solo e aos efeitos atmosféricos.

Tendo em vista que, para a região de Cachoeira do Sul, não se encontraram estudos para identificar desuniformidade de aplicação em pivô central, pressupõe-se que é possível utilizar imagens obtidas por sensoriamento remoto para essa finalidade. Portanto, o objetivo deste estudo foi identificar desuniformidade de aplicação em pivô central com o auxílio do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido a partir do sensoriamento remoto.

2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

O pivô central consiste em sistema mecanizado de irrigação por aspersão, onde os emissores ficam suspensos em uma linha lateral apoiada por torres. A movimentação circular do pivô central é realizada por meio de motores e rodas nas torres que compõem o equipamento.

Sua movimentação se dá por alinhamento e desalinhamento das torres, que ao se deslocarem acionam os relés que energizam os motores e movimentam as rodas por meio de eixos cardam acoplados a motorreductores. O movimento cessa assim que as torres voltam ao seu alinhamento e volta a ocorrer quando as mesmas se desalinham novamente.

O pivô central é constituído por elementos estruturais e operacionais. A estrutura contém a torre central/ponto pivô, que ancora as demais partes de estrutura e também é o ponto de tomada d'água, as tubulações, as sustentações e vedações. Os elementos operacionais englobam reguladores de pressão e os aspersores, conjunto esse chamado de emissores.

Considerando que o aumento do raio aumenta a área irrigada, a vazão e intensidade de aplicação dos emissores aumentam ao longo da linha lateral. Porém, os emissores podem apresentar variações e/ou componentes especiais em função dos seus objetivos (MANTOVANI, et al. 2009). Apesar do projeto recomendar essa especificação dos emissores, conforme a vazão definida, é comum se observar trocas indevidas de bocais de emissores sem obedecer a ordem de instalação.

Entre os objetivos de se implantar um sistema de irrigação por pivô central, está o de proporcionar condições para aumentar a produtividade, visando a maximização do lucro financeiro. Nesse aspecto, desuniformidade de distribuição de água tem efeito no rendimento das culturas, podendo ter áreas com déficit e áreas com excesso de umidade.

A uniformidade de aplicação da água é um dos parâmetros para análise de desempenho de um sistema de irrigação. Para se estimar a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação do tipo pivô central, segue-se a norma ABNT para pivô central, onde se avalia a distribuição e a eficiência de aplicação utilizando os raios do pivô.

Segundo norma ABNT NBR 11545 (2016), que estabelece a metodologia de determinação do coeficiente de uniformidade, a avaliação de pivô central deve ser feita do sistema como um todo, verificando a distribuição de pressão para ajustá-la e mantê-la constante durante o ensaio. Também é necessário verificar se os emissores utilizados estão de acordo com o projeto e se as condições climáticas estão favoráveis para a realização do ensaio. Recomenda-se que o teste seja conduzido em períodos do dia que minimizem os efeitos de evaporação. Os coletores são distribuídos ao longo do raio do pivô, espaçados entre si de 3 m para aspersores fixos e 5 m para aspersores rotativos, numerados em ordem crescente, a partir do centro, essa

numeração se faz necessária para o controle das lâminas, devido a variação da área representada por coletor. A distância entre as extremidades das linhas não deve ultrapassar 50 metros e o número de linhas vai depender da finalidade da avaliação e da disposição do equipamento. A avaliação deve ser realizada em velocidade tal qual aplique, uma lâmina média superior a 15 mm.

A quantidade de fatores que influenciam a uniformidade de aplicação dos sistemas de irrigação por aspersão pode dificultar as avaliações, diante da dificuldade de se obter as condições ambientais e operacionais necessárias. Devido às dificuldades encontradas, diversos estudos recorreram ao uso de simulações digitais no estudo destas interações (ZAPATA et al., 2007; SMITH et al., 2008; PRADO E COLOMBO, 2010).

Outra possibilidade é o emprego de sensoriamento remoto, relacionando-se a resposta na cultura com problemas de operação, buscando-se reduzir tempo e custos nas tomadas de decisões (TEIXEIRA et al., 2009). O sensoriamento remoto compreende um conjunto de ferramentas para obter informações sobre alvos dentro da superfície terrestre utilizando sensores sem contato físico, registrando suas interações com a radiação eletromagnética (JENSEN & EPIPHANIO, 2011; FORMAGGIO & SANCHES, 2017).

O sensoriamento remoto aplicado à irrigação fornece dados usados principalmente como ferramentas para previsão de rendimento, necessidades de água, além do monitoramento de culturas, melhorando a eficiência do uso da água, com manejos de irrigação precisos. Dentre as ferramentas do sensoriamento remoto, os índices de vegetação são amplamente utilizados para indicar o estado nutricional das culturas e estimar o rendimento da colheita. No entanto, sua acurácia é influenciada pelo estágio fenológico de avaliação e pelo índice utilizado. A banda térmica na região do infravermelho possui correlação direta com a estimativa do estado hídrico da planta, pois é baseado na temperatura foliar, que é inversamente proporcional à abertura estomática e transpiração (FUCHS, 1990).

Os índices de vegetação são baseados nas reflectâncias espectrais de sensores e visam potencializar as respostas de interesse dos alvos, possibilitando a detecção de problemas na vegetação (RIBEIRO et al., 2017). Dentre vários índices citados na literatura, não há consenso sobre qual é o mais adequado para o monitoramento de culturas, porque alguns deles são mais sensíveis à baixa biomassa, enquanto outros têm maior sensibilidade à alta biomassa (BERTOLIN et al., 2017; KROSS et al., 2015; JENSEN & EPIPHANIO, 2011).

O NDVI, proposto por Rouse et al. (1974), é o mais comum entre os índices de vegetação, determinado através da leitura da reflectância nas bandas do infravermelho próximo e vermelho. Quanto mais verde a folha maior sua reflectância, possibilitando a avaliação da

nutrição da cultura, sanidade de plantas, déficits hídricos entre outros. Porém este índice possui uma limitação quando o dossel de plantas está próximo ao seu máximo índice de área foliar, quando o NDVI sofre uma saturação no seu valor médio e não identifica baixo potencial vegetativo.

As imagens NDVI podem ser obtidas com sensores instalados em satélites, aviões ou veículos aéreos não tripulados. Existem empresas especializadas em obter e fornecer imagens de NDVI com alta resolução, além das imagens com menor resolução disponíveis gratuitamente em plataformas na internet. Exemplo disso são: as imagens de satélites Landsat, que contam com resolução espacial de 30 m para espectros de ondas curtas no visível e infravermelho, com revisita de 16 dias; e os satélites Sentinel, que fornecem imagens de 10 m de resolução e cinco dias de revisita. Entretanto, essas imagens estão sujeitas a presenças de nuvens sobre a região de interesse e a resolução pode não ser de uma qualidade satisfatória para atender o que se deseja no estudo (DIGIFARMZ, 2022; MAIS SOJA, 2022).

O valor de NDVI varia entre -1,0 e 1,0, sendo que valores próximos a 1,0 indicam a presença de vegetação fotossinteticamente ativa e valores menores ou próximos a zero indicam solo exposto, sem a presença de vegetação (ROUSE et al. 1974). Esse índice pode ser importante para comparar o desenvolvimento e sanidade de áreas, podendo identificar também a desuniformidades de aplicação de água durante a irrigação, indicando problemas de manejo e/ou a necessidade de manutenção nos equipamentos de irrigação.

Um exemplo de utilização de NDVI em engenharia de irrigação é a avaliação de distribuição de água por pivô central a partir imagens de satélite Landsat 8 na região do delta do Nilo (FARG et al., 2017). Constatou-se que a uniformidade determinada a partir de sensoriamento remoto apresentou resultados semelhantes a uniformidade medida em ensaio de campo. Por isso, a utilização de imagens tende a facilitar a verificação periódica da uniformidade, especialmente em grandes áreas com inúmeros pivôs, o que tornaria as medições a campo muito demoradas.

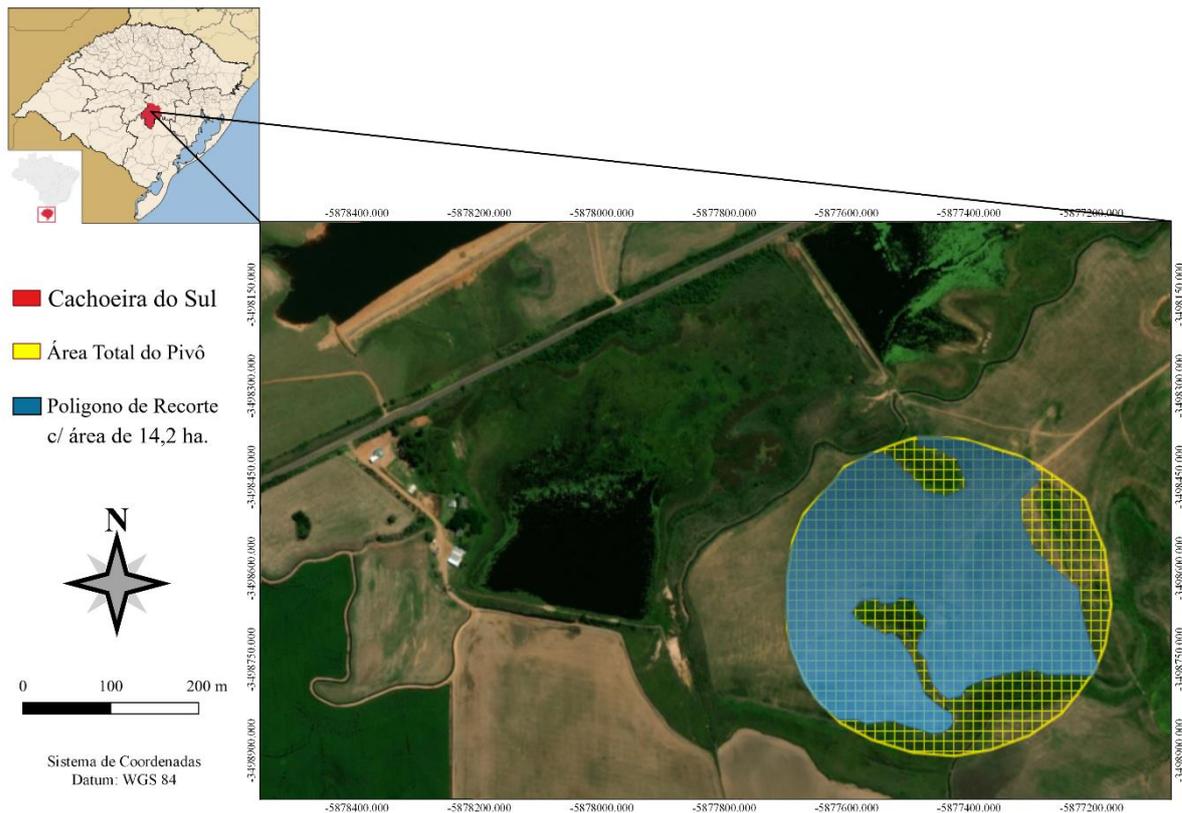
O sensoriamento remoto tem sido amplamente empregados para manejo de irrigação, com possibilidade de monitoramento na necessidade de água das culturas. A relação entre o desenvolvimento vegetal e os índices de vegetação tem sido amplamente estudada para culturas de interesse comercial, por exemplo para milho (ALVINO et al., 2020), batatas (JOCIK et al., 2021) e trigo (VELEZ et al., 2011). O desenvolvimento vegetal refletido no coeficiente de cultura pode ser obtido por meio de imagens de satélites Landsat (DE GOIS, 2022) e Sentinel 2A (JOCIK et al., 2021).

Dessa forma, a metodologia que visa integrar o sensoriamento remoto com o gerenciamento da irrigação, possibilita realizar a programação da irrigação e o monitoramento do sistema, para uma possível assessoria ao irrigante (JOCIK et al., 2021), inclusive com plataforma na internet, atendendo vastas regiões produtivas, entregues em tempo quase real (24 - 36 h) e processadas usando dados agrometeorológicos (VUOLO et al., 2015). Essa recomendação é personalizada para o local e baseada na evapotranspiração da cultura, com mapas de aplicações, volume de irrigação sugeridos e status atual dos equipamentos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, com as coordenadas geográficas $29^{\circ}57'42''$ S e $52^{\circ}47'59''$ (Sistema de Coordenadas WGS 84) (Figura 1). O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido por Köppen, com precipitação média anual de 1.500 mm.

Figura 1. Área de Estudo.



Fonte: Adaptado de Google Earth - jan./2020.

O pivô central foi implantado na propriedade no ano de 2015, com aproximadamente 20 ha de área irrigada, entretanto foi instalado em local que apresenta ponto de encharcamento (Figura 1), assim, a área útil irrigada é de cerca de 14,2 ha, conforme polígono de recorte (Figura 1), o que limita o potencial da máquina. Segundo informações repassadas pela administração da fazenda, nesta propriedade realiza-se duas safras e cultura de inverno para cobertura.

O monitoramento foi realizado usando imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2. Este satélite fornece imagens com resolução espacial de 10 m para espectros de ondas curtas do vermelho e infravermelho e resolução temporal de 5 dias (PORTAL EMBRAPA, 2020). As imagens foram adquiridas no plugin "Semi-Automatic Classification Plugin" (SCP) do aplicativo Qgis, onde é possível selecionar os períodos, interferência de nuvens e a área de

interesse de estudo. Assim, obteve-se apenas imagens dentro da área delimitada e não de toda cena disponibilizada pelo satélite. Pode-se selecionar para download somente as bandas espectrais que se deseja utilizar, no caso do NDVI que utiliza as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, bandas B04 e B08, respectivamente, para a plataforma de satélite Sentinel-2.

As imagens foram processadas com o aplicativo Qgis, utilizando ferramentas de mesclagem das bandas e ferramenta raster para determinação do NDVI a partir de imagens com menos de 10% de cobertura de nuvens, em cada mês dentro do período de outubro a abril, dos anos agrícolas 2018 a 2022. O período utilizado foi estimado levando em consideração que a propriedade realiza primeira safra e segunda safra, de acordo com informações disponibilizadas pela administração de fazenda, porém não possui registro de épocas de semeadura e culturas implantadas em cada talhão, com isso, limitou-se a quantidade de imagens disponíveis.

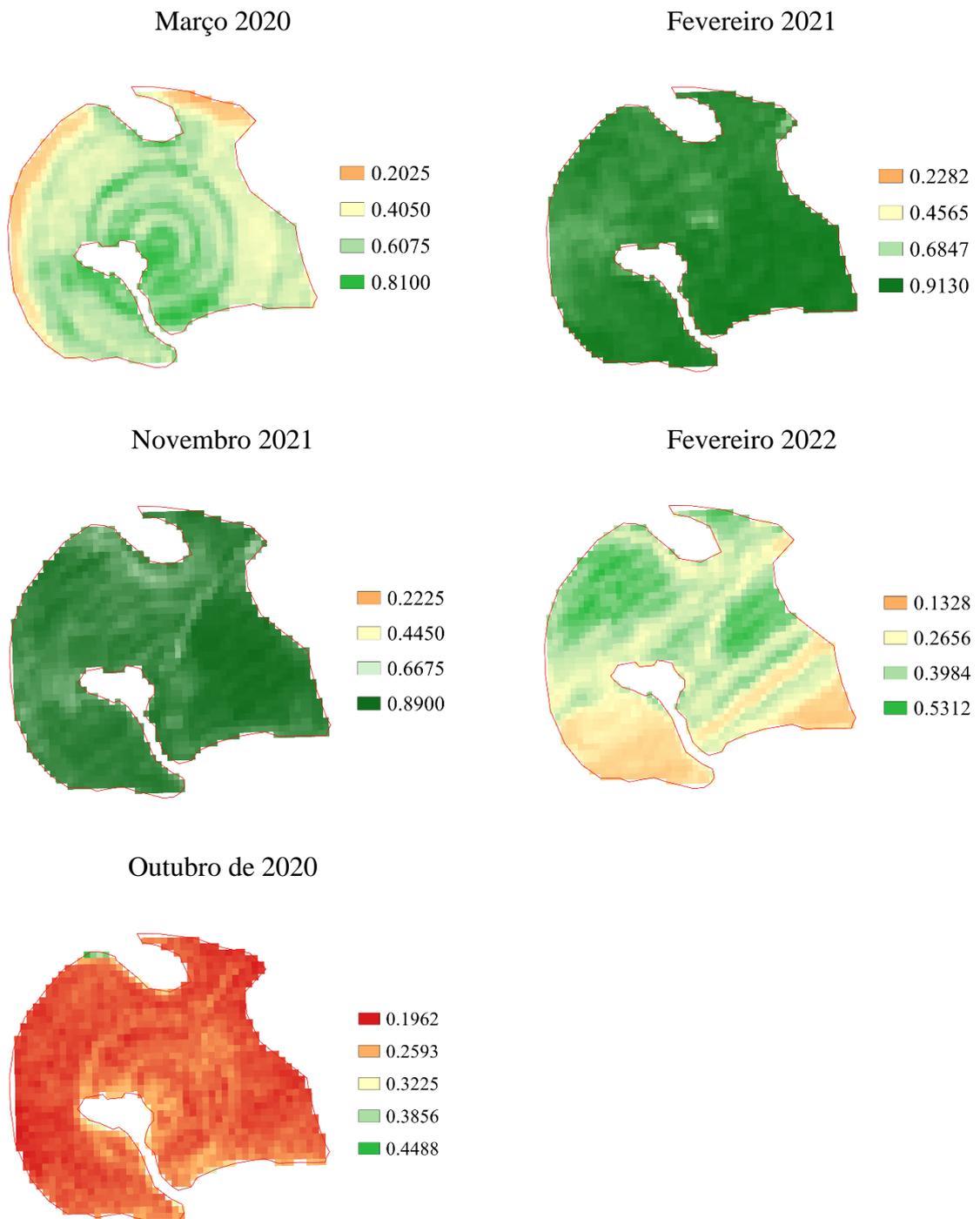
Até o momento, não se encontrou um coeficiente que expresse a uniformidade a partir do NDVI. Por isso, não se realizou uma análise estatística dos resultados, mas sim, um estudo exploratório de cada imagem para identificar possíveis faixas de desuniformidade. Para o NDVI obtido em cada imagem gerou-se uma escala de falsa cor para realçar a diferença entre os pixels, possibilitando destacar padrões de problemas de aplicação, que no pivô se apresentam em circunferências. O cultivo na área foi utilizado como indicador para NDVI, pois o interesse do estudo eram os problemas apresentados pela máquina ligados a engenharia.

Ao final do estudo, após análise das imagens, foi realizado um levantamento de campo para caracterizar a máquina, mapeando os diâmetros de bocais em cada posição ao longo da linha lateral. Cada bocal tem uma cor e uma numeração específica atribuídas pelo fabricante para fácil identificação. As válvulas de regulação de pressão utilizadas também possuem gravação da pressão de serviço e o fabricante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período analisado foi possível obter somente cinco imagens uteis (Figura 2), já que as demais disponíveis não atenderam as restrições necessárias para o estudo, especialmente devido a cobertura de nuvens.

Figura 2. Imagens NDVI para o pivô central em estudo, após recorte com polígono da área encharcada



Fonte: Autor

Observa-se que para março de 2020 (Figura 2) foi possível detectar imagem que indica desuniformidade de aplicação ao longo do pivô, com três circunferências em destaque. Nas duas circunferências próximas ao ponto pivô o NDVI foi próximo a 1,0 indicando um excedente de aplicação de água. Já próximo a borda do pivô, o índice expressou valores próximos a 0,0 indicando um déficit de aplicação de água. Portanto, o sensoriamento remoto como ferramenta possibilitou a identificação de desuniformidade na aplicação pelo pivô central nesse período do cultivo.

Para o período de fevereiro de 2021 e novembro 2021 (Figura 2), é possível observar que houve faixas de desuniformidade de aplicação ao longo do pivô, com duas circunferências em menor destaque em relação ao período de março de 2020. Isso se explica pelo fato de o dossel da cultura de verão, nessa época do ano na região do estudo, estar muito próximo ao seu máximo índice de área foliar, fazendo com que o NDVI sature e não identifique baixo potencial vegetativo. Os valores de NDVI ficaram entre a 0,5 e 1,0 indicando um excedente de aplicação de água nas regiões de tom mais escuro de verde e déficit de aplicação em regiões em tom de verde mais claro.

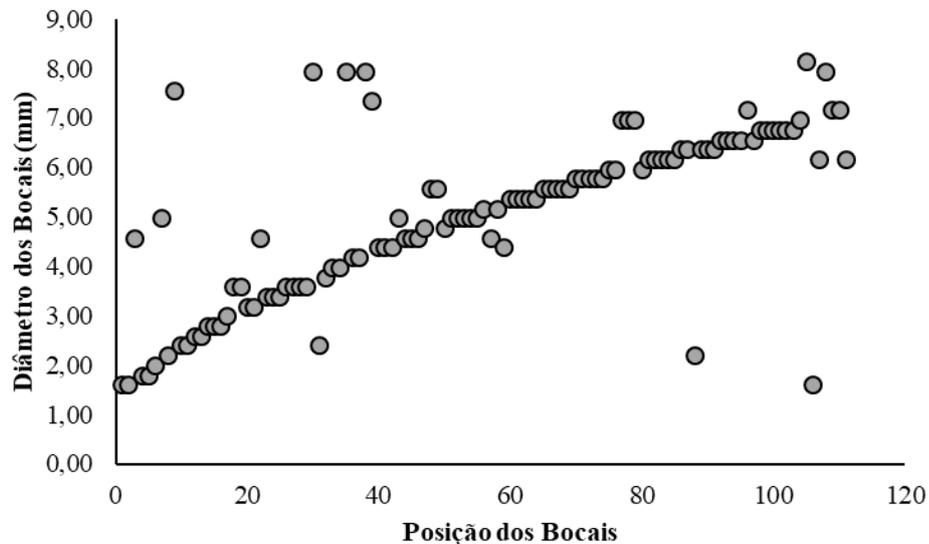
No período de fevereiro de 2022, não é possível identificar faixas circulares de desuniformidade de aplicação. No entanto, é possível observar possíveis áreas de replantio com valores de NDVI próximos a 0,0. Isso se explica decorrente das baixas precipitações na região no período, já esperadas para a região nessa época, quando se está realizando o cultivo da segunda safra. Estes fatores podem ter ocasionado uma escassez de água não sendo possível a utilização da irrigação na fase de emergência da cultura. Portanto, o sensoriamento remoto, como ferramenta, não possibilitou a identificação de desuniformidade, mas pode ser uma ferramenta de indicação da ausência de práticas de manejo de irrigação no período de cultivo.

Em outubro de 2020 provavelmente era final de ciclo de cultura de inverno, pois o NDVI representou uma vegetação em maturação fisiológica, com valores de NDVI próximos a 0,0. Neste caso, é possível identificar duas circunferências onde ocorreu um excedente de aplicação próximo ao ponto pivô, como o ocorrido no período março de 2020. Para confirmação da uniformidade seria necessário teste a campo (ABNT NBR 14244, 1998), semelhante ao realizado por (FARG et al., 2017), para se relacionar as faixas identificadas com o sensoriamento remoto.

Em visita a campo, identificaram-se bocais com diâmetro superior ao recomendado pelo projeto, de acordo com o mapeamento de bocais realizado (Figura 3). Com isso, observa-se que as faixas com excedente de aplicação na imagem de março de 2020 (Figura 2) foram resultados de uma vazão excessiva por esses bocais. Normalmente, no projeto do pivô central, os bocais

são posicionados com um aumento crescente de diâmetro do ponto pivô à extremidade, para manter a lâmina de irrigação constante (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009). Além disso, na extremidade do pivô identificou-se a presença de canhão sem bomba “booster”, o que pode estar com funcionamento deficitário, porém não foi colocado em operação para verificação no levantamento a campo.

Figura 3. Mapeamento dos diâmetros de bocais



Fonte: Autor

Além dos problemas com diâmetros de bocais, constatou-se que haviam válvulas de diferentes pressões de regulação (0,7 e 1,0 bar) e diferentes fabricantes (Figura 4). Diferentes pressões de regulação implicam em diferentes vazões, causando desuniformidade de aplicação. Também é possível que as válvulas não estejam regulando corretamente devido à qualidade da água e degradação devido ao período de utilização por não serem mais novas (TALAMINI Jr. et al., 2018). Os bocais também podem estar desgastados pelo uso e com vida útil superior ao indicado pelo fabricante, que usualmente é de cinco anos (SENNINGER, 2022).

Figura 4. Válvulas de regulação do pivô central



Fonte: Autor

Foi possível identificar uma diferença de modelos de difusores ao longo do raio do pivô (Figura 5), alguns com placas defletoras concava com ranhura grossa e outros com placas plana de ranhura média e grossa (SENNINGER, 2022). Segundo o fabricante, os difusores implicam em diferente raio de alcance do jato e espalhamento da gota, o que pode levar a diferente distribuição em emissores vizinhos.

Figura 5. Placas defletoras do pivô central



Fonte. Autor

Portanto, o sensoriamento remoto possibilitou a detecção de falhas de aplicação em pivô central. Para próximos estudos, indica-se a utilização de diversos pivôs, ou de forma pontual, para um pivô, utilizando outros índices de vegetação disponíveis na literatura. Também é importante salientar que para esse tipo de análise, os acidentes topográficos devem ser excluídos do estudo, para não prejudicar o NDVI. Utilizando polígono de recorte. E quando houver mais de uma cultura irrigada, a separação das áreas também deve ser considerada.

5 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada no estudo foi eficaz para indicar faixas de desuniformidade no pivô central, porém ela possui fatores limitantes como a saturação do NDVI em fases fenológicas finais da cultura.

Com visita a campo foi possível identificar as possíveis causas dos problemas de desuniformidade indicados pelo NDVI e possível falta de manejo de irrigação associada a uma ausência de manutenção da máquina.

O presente estudo de análise da ferramenta do sensoriamento remoto pode servir como parâmetros inicial para futuros estudos na área e aperfeiçoamento da metodologia, com o emprego dos diferentes índices de vegetação disponíveis visando a identificação dos problemas da máquina para uma possível prestação de serviço de acessória ao irrigante.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Embrapa Milho e Sorgo**. 2. ed. Brasília: ANA, 47 p. 2019.
- ALVINO, F. C. G.; ALEMAN, C. C.; FILGUEIRAS, R. et al. Índices de Vegetação para Monitoramento de Milho Irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 322-333. 2020.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI E. C.; DA SILVA D. D.; SOARES A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG, 2019. 545 p. Editora UFV. ISBN 978-85-7269-61-04
- BERTOLIN, N.O.; FILGUEIRAS, R.; VENANCIO, L.P.; MANTOVANI, E.C. Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, 2017.
- DE GOIS, H. **Coefficiente de Cultura para Nogueira-Pecã na Região de Cachoeira do Sul**, RS, 2022. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022
- DIGIFARMZ. **O que é o NDVI e qual é a sua importância na agricultura? (2021)**. Disponível em: <https://www.digifarmz.com/blog/imagens-ndvi-fundamentos-e-importancia-para-a-agricultura/>. Acesso em: 18 abr. 2022.
- EARTH OBSERVING SYSTEM. **Índices De Vegetação Para Impulsionar Soluções Digitais. 2022**. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/indices-de-vegetacao/#:~:text=No%20sensoriamento%20remoto%2C%20os%20%20C3%ADndices,medida%20da%20sa%20C3%BAde%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 09 jul. 2022.
- EVANS, R.G. Center Pivot Irrigation; Research Report; **USDA-Agricultural Research Service**: Sidney, MT, USA, 2001.
- FARG, E. et al. Avaliação da distribuição de água sob sistemas de irrigação por pivô usando imagens de sensoriamento remoto no leste do delta do Nilo. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 20, p. 13-19, 2017.
- FORMAGGIO, A.R.; SANCHES, I.D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 288, 2017.
- FUCHS, M. Medição infravermelha da temperatura do dossel e detecção de estresse hídrico em plantas. **Climatologia Teórica e Aplicada**, v. 42, n. 4, p. 253-261, 1990.
- JENSEN, J.R.; EPIPHANIO, J.C.N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, Parêntese, 598p, 2011.
- JOCIK, M. et al. Aplicação de Sensoriamento Remoto para Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 30, n. 1, p. 17-25, 2021.

KROSS, A. et al. Avaliação de índices de vegetação RapidEye para estimativa de índice de área foliar e biomassa em culturas de milho e soja. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v 34, p. 235-248, 2015.

MADER, S.; KAN, H. **Center pivot irrigation revolutionizes agriculture**. 2010. Disponível em: <https://www.thefencepost.com/news/center-pivot-irrigation-revolutionizes-agriculture>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MAIS SOJA. **NDVI: o que é, como funciona e pra que serve. (2020)**. Disponível em: https://maissoja.com.br/ndvi-o-que-e-como-funciona-e-pra-que-serve-fbclidiwar3ysl2mmukdhslitatqtqqlxxcou9z3pixse_iu5c5iwp3hkld3o12nf2a/. Acesso em: 18 abr. 2022.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos**. 3. ed. Viçosa, MG, 2009. 355 p. Editora UFV. ISBN 978-85-7269-37-38

PORTAL EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento - Missão Sentinel (2020)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 25 jun. 2022.

PRADO, G. do; COLOMBO, A. **Distribuição espacial da água aplicada por equipamentos autopropelidos de irrigação** -Parte I: Modelagem com o Simulasoft. Botucatu Irriga, v. 15, n. 1, p. 51, 2011.

RIBEIRO, R.B. et al. Variabilidade espaçotemporal da condição da floresta na agricultura irrigada por meio imagens sentinel-2. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 11, n. 6, p. 1884-1893, 2017.

ROUSE, JR. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoramento de sistemas de vegetação nas Grandes Planícies com ERTS, 1974.

SENNINGER. Mechanized Irrigation Low Pressure - High Performance™, **Agricultural Irrigation**. Disponível em: https://www.senninger.com/sites/senninger.hunterindustries.com/files/mechanical-move-products-catalog_9.pdf. Acesso em: 08 jul. 2022.

SMITH, R. J. et al. A decision support model for travelling gun irrigation machines. **Biosystems engineering**, v. 100, n. 1, p. 126-136, 2008.

TALAMINI, Jr. M. V.; DE ARAUJO, A. C. S.; DE CAMARGO, A. P.; SARETTA, E.; FRIZZONE, J. A. Operational Characterization of Pressure Regulating Valves. **The Scientific World Journal**. Hindawi. p. 9, 2018.

TEIXEIRA, A.H.C. et al. Revisão dos parâmetros de entrada do SEBAL para avaliação da evapotranspiração e produtividade da água para a bacia do Baixo-médio São Francisco, Brasil Parte A: Calibração e validação. **Meteorologia Agrícola e Florestal**. V. 149, ed. 3 - 4, p. 462-476, 2009.

VÉLEZ, P. et al. Agricultura de riego asistida con satélites. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. 2, n. 2, 2011.

VUOLO, F. et al. Satellite-based Irrigation Advisory Services: A Common tool for Different Experiences from Europe to Australia. *Agricultural Water Management*, v. 147, p. 82-95, 2015.

ZAPATA, N. et al. From on-farm solid-set sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas. ***Agricultural Water Management***, v. 87, n. 2, p. 187-199, 2007.