

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Campus Litoral
Licenciatura em Geografia

Joseane da Silva

Sensoriamento remoto para análise dos efeitos da estiagem sobre a cobertura
vegetal do município de Rolador, RS.

Tramandaí, RS

2022

Joseane da Silva

Sensoriamento remoto para análise dos efeitos da estiagem sobre a cobertura vegetal do município de Rolador, RS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de licenciada em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira

Tramandaí, RS

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Joseane da
Sensoriamento remoto para análise dos efeitos da
estiagem sobre a cobertura vegetal do município de
Rolador, RS. / Joseane da Silva. -- 2023.
65 f.
Orientador: Guilherme Garcia de Oliveira.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus
Litoral Norte, Licenciatura em Geografia, Tramandaí,
BR-RS, 2023.

1. Desastres climáticos. 2. Geoprocessamento. 3.
NDVI. 4. Agricultura. I. Oliveira, Guilherme Garcia
de, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Joseane da Silva

Sensoriamento remoto para análise dos efeitos da estiagem sobre a cobertura vegetal do município de Rolador, RS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de licenciada em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira

Aprovada em: Tramandaí, RS, janeiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira (Orientador)
Departamento Interdisciplinar - UFRGS

Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho
Departamento de Geodésia - UFRGS

Profa. Dra. Lucimar de Fátima dos Santos Vieira
Departamento Interdisciplinar - UFRGS

RESUMO

Um período de estiagem foi registrado no estado do Rio Grande do Sul em 2022, alterando a dinâmica da paisagem e comprometendo o desempenho da agricultura gaúcha. A observação do comportamento espectral da vegetação durante eventos climáticos extremos é importante para a compreensão da intensidade destes processos e para a análise de tendências futuras. O objetivo principal desta pesquisa foi analisar o comportamento da cobertura vegetal do município de Rolador - RS durante o período de estiagem registrado durante a safra de verão de 2021/2022, evento que atingiu fortemente este estado e produziu impactos significativos em toda a economia gaúcha. Para atingir os objetivos propostos, a área de estudo foi delimitada com a classificação de uso e cobertura da terra do município e foram selecionados os polígonos classificados como agricultura. Uma caracterização climática foi realizada durante as safras de culturas de verão em um período de normalidade climática e o período de estiagem em estudo. Séries temporais utilizando Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para os polígonos de agricultura, em conjunto com a análise das anomalias climáticas foram utilizadas para a avaliação dos efeitos desta estiagem. Analisando a variação temporal dos índices obtidos, em especial quando comparados com o período de normalidade climática, concluiu-se que a cobertura vegetal do município foi negativamente afetada durante o período de estiagem e que o método utilizado apresentou êxito para a caracterização destes eventos sobre a cobertura vegetal.

Palavras-chave: Desastres climáticos. Geoprocessamento. NDVI. Agricultura.

ABSTRACT

A dry period was registered in the state of Rio Grande do Sul in 2022, changing the dynamics of the landscape and compromising the performance of agriculture in the state. Observing the spectral behavior of vegetation during extreme weather events is important for understanding the intensity of these processes and for analyzing future trends. The main objective of this research was to analyze the behavior of the vegetation cover in the municipality of Rolador - RS during the dry period recorded during the 2021/2022 summer harvest, an event that strongly affected this state and produced significant impacts on the entire economy of Rio Grande do Sul. To achieve the proposed objectives, the study area was delimited with the classification of land use and land cover in the municipality and the polygons classified as agriculture were selected. A climatic characterization was carried out during the summer crop harvests in a period of climatic normality and the dry period under study. Time series using Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) for agricultural polygons, together with the analysis of climate anomalies were used to assess the effects of this drought. Analyzing the temporal variation of the indexes obtained, especially when compared with the period of climatic normality, it was concluded that the vegetation cover of the municipality was negatively affected during the dry period and that the method used was successful for the characterization of these events on the vegetal cover.

Keywords: Climate Disasters. Geoprocessing. NDVI. Agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo - município de Rolador-RS.	12
Figura 2 – Características do relevo - Modelo Digital de Elevação de Rolador-RS... ..	13
Figura 3 - Intervalos espectrais.	16
Figura 4 - Histograma exemplificando as variáveis de tendência central de distribuição dos dados, variabilidade e forma.....	18
Figura 5 - Boxplot exemplificando a distribuição dos dados de NDVI.	18
Figura 6 - Fluxograma do processo metodológico.	23
Figura 7 - Classificação de uso e cobertura da terra do município de Rolador-RS... ..	29
Figura 8 - Delimitação da área de estudo: polígonos com classificação de agricultura.	30
Figura 9 - Anos da série histórica com maior registro de dias com temperatura máxima acima de 38°C em janeiro, para a estação climatológica de São Luiz Gonzaga.	34
Figura 10 - Temperatura máxima diária registrada na estação climatológica de São Luiz Gonzaga em janeiro de 2022.....	34
Figura 11 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de novembro e dezembro de 2020.....	36
Figura 12 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de janeiro e fevereiro de 2021.....	37
Figura 13 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de março e abril de 2021.....	39
Figura 14 - Diagramas de caixas (boxplot) da distribuição de valores de NDVI para os polígonos de agricultura – Safra 2020/2021.....	40
Figura 15 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de novembro e dezembro de 2021.....	42
Figura 16 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de janeiro e fevereiro de 2022.....	43
Figura 17 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de março e abril de 2022.....	45
Figura 18 - Diagramas de caixas (boxplot) da distribuição de valores de NDVI para os polígonos de agricultura – Safra 2021/2022.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comprimentos de onda das bandas espectrais utilizadas.....	24
Tabela 2: Normal climatológica para a estação 83907 - São Luiz Gonzaga.	26
Tabela 3: Especificação do sensor e cenas utilizadas para a composição das séries temporais de NDVI.	28
Tabela 4: Desvios da normal climatológica. Estação climatológica 83907: São Luiz Gonzaga, ano-safra 2020/2021.....	32
Tabela 5: Desvios da normal climatológica, estação 83907: São Luiz Gonzaga, ano-safra 2021/2022.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	10
1.2 ÁREA DE ESTUDO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 ESTIAGEM E SEUS EFEITOS NA AGRICULTURA	14
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO	15
2.2.1 O espectro eletromagnético	16
2.2.2 A resolução das imagens digitais	16
2.2.3 Representação de imagens digitais através de histograma e boxplot	17
2.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	19
3 METODOLOGIA	22
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1.1 Classificação de uso e cobertura da terra	23
3.1.2 Delimitação da área de interesse	25
3.1.3 Obtenção e tratamento dos dados climatológicos	25
3.1.4 Obtenção das séries temporais de NDVI	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	30
4.1.1 Caracterização climática da safra agrícola 2020/2021	31
4.1.2 Caracterização climática da safra agrícola 2021/2022	32
4.2 SAFRA 2020/2021: SÉRIE TEMPORAL DO NDVI PARA O PERÍODO DE NORMALIDADE	35
4.2.1 Resultados para novembro e dezembro de 2020	35
4.2.2 Resultados para janeiro e fevereiro de 2021	36
4.2.3 Resultados para março e abril de 2021	38
4.3 SAFRA 2021/2022: SÉRIE TEMPORAL DO NDVI PARA O PERÍODO DE ESTIAGEM.....	41
4.3.1 Resultados para novembro e dezembro de 2021	41
4.3.2 Resultados para janeiro e fevereiro de 2022	42
4.3.3 Resultados para março e abril de 2022	44
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

APÊNDICE A – ROLADOR – NDVI NOVEMBRO 2020.....	52
APÊNDICE B – ROLADOR – NDVI DEZEMBRO 2020	53
APÊNDICE C – ROLADOR – NDVI JANEIRO 2021	54
APÊNDICE D – ROLADOR – NDVI FEVEREIRO 2021	55
APÊNDICE E – ROLADOR – NDVI MARÇO 2021	56
APÊNDICE F – ROLADOR – NDVI ABRIL 2021	57
APÊNDICE G – ROLADOR – NDVI NOVEMBRO 2021	58
APÊNDICE H – ROLADOR – NDVI DEZEMBRO 2021	59
APÊNDICE I – ROLADOR – NDVI JANEIRO 2022	60
APÊNDICE J – ROLADOR – NDVI FEVEREIRO 2022.....	61
APÊNDICE K – ROLADOR – NDVI MARÇO 2022	62
APÊNDICE L – ROLADOR – NDVI ABRIL 2022	63

1 INTRODUÇÃO

Os resultados da atividade agrícola estão fortemente associados às variáveis climáticas. Ainda que algumas dessas variáveis sejam passíveis de manejo pela utilização de tecnologias que podem auxiliar na redução dos impactos e perdas, muitas delas não são possíveis de ser evitadas quando os sistemas alternativos de manejo se esgotam, seja pela limitação tecnológica, seja pela escassez de recursos naturais (Emater/RS-Ascar, 2022a).

A agricultura é uma atividade cujos resultados estão fortemente atrelados ao clima. O entendimento e a previsibilidade dos fenômenos associados a variabilidade climática tornam-se importantes no sentido de conhecer a distribuição espacial e temporal destes eventos dentro de uma região.

A ocorrência da estiagem ao longo do ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas pode acarretar perdas de rendimentos de grãos, e conseqüentemente, a redução da estimativa de safras. Uma das primeiras reações do meio ambiente a falta de precipitação pode ser vista na vegetação e conseqüentemente na agricultura.

Recorrentes no Rio Grande do Sul, estes eventos têm se mostrado constantes em períodos de primavera-verão, não somente pela redução da precipitação pluvial, mas especialmente pela alta demanda evaporativa para a atmosfera. Os impactos causados pela estiagem resultam da relação entre os eventos naturais e as atividades socioeconômicas desenvolvidas, as que compõem o setor agrícola, geralmente são as primeiras a serem afetadas.

O ano de 2021 foi caracterizado por condições agroclimáticas favoráveis no Rio Grande do Sul, com a recuperação da produção agropecuária e o registro de recorde na produção de grãos. No entanto, em 2022, ocorreu a maior estiagem dos últimos anos neste estado, com novo recuo da produção agropecuária local e prognósticos de impacto no crescimento do PIB gaúcho (DE-SPGG/RS, 2022).

A frequência de atualização dos dados espaciais disponíveis e as limitações destas informações, tornam a caracterização das áreas afetadas e a magnitude dos danos causados pela estiagem um grande desafio. Nesse sentido, o uso de sensoriamento remoto, através de índices de vegetação, contribui para propiciar

análises sobre a situação de coberturas vegetais submetidas a eventos meteorológicos ou climáticos adversos.

Diversos estudos com base em índices de vegetação analisaram a dinâmica da vegetação em séries temporais (Cordeiro, 2014), (Kuplich *et al*, 2013) e (Sartori *et al*, 2009). De acordo com Kuplich *et al* (2013), esses índices atuam com indicadores do crescimento e vigor da vegetação, mostrando-se adequados para o monitoramento do crescimento e de mudanças fenológicas nas formações vegetais e áreas agrícolas no Brasil.

Diante do que foi exposto, essa pesquisa busca responder a seguinte pergunta norteadora: quais os efeitos da estiagem prolongada sobre a cobertura vegetal do município de Rolador, RS durante a safra de verão 2021/2022 e qual a magnitude deste evento, quando comparada a um período-safra de normalidade climática?

1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo principal deste estudo consiste em analisar o comportamento da cobertura vegetal de áreas agrícolas do município de Rolador, RS, a partir de sensoriamento remoto, durante o evento de estiagem ocorrido no período de safra de verão de 2021/2022. Para isto, buscou-se analisar a assinatura espectral de polígonos da cobertura vegetal do município utilizando índices de vegetação obtidos através de imagens Landsat; buscou-se também analisar em séries históricas outros períodos-safra de normalidade climática, comparando seus efeitos e qualificando a magnitude deste evento.

1.2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Rolador está localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, apresenta extensão territorial de 295 km² e sede municipal entre as coordenadas geográficas latitude: 28°15'30", longitude: 54°49'7"Oeste. Com uma população estimada de 2.546 habitantes e densidade demográfica aproximada de 8,6 hab/km², o município apresenta dinâmica territorial predominantemente rural, tendo na agropecuária uma participação de 61% de suas atividades econômicas (SPGG-

RS). A estrutura agrária é formada, em sua maioria, por pequenas e médias propriedades produtoras de soja, trigo e milho e na pecuária destaca-se a criação de bovinos e pequenos animais como suínos e aves (IBGE, 2017).

Segundo a classificação climática de Köppen (1931), o clima da região enquadra-se como temperado chuvoso, tipo climático Cfa, apresentando temperatura média com variações entre 22°C e 26°C para o mês mais quente do ano e apresenta uma distribuição regular de chuvas ao longo de todo o ano, com índices pluviométricos anuais entre 1.300mm a 1.800mm (KUINCHTNER E BURIOL, 2001).

A hidrografia da região está inserida na bacia hidrográfica do Rio Ijuí (96,1%) e na bacia hidrográfica do Rio Piratinim (3,9%), pertencentes a região hidrográfica Uruguai. O Rio Ijuí, principal afluente da bacia que abrange a maior parte do município, banha Rolador em seu limite norte e é represado pelas barragens UHE São José e UHE Passo São João, que possuem parte de seus reservatórios sobre este município, classificadas como de médio impacto ambiental, segundo critérios de Cardoso et al (2015).

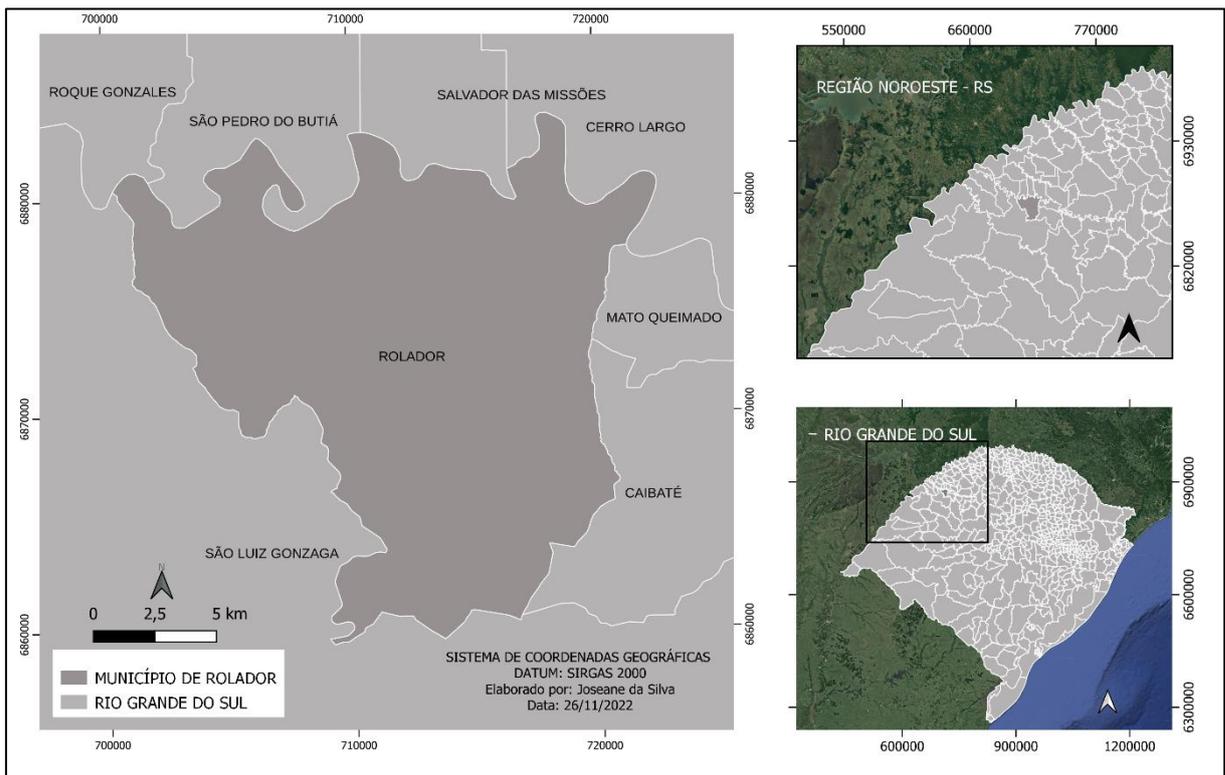
A geologia do município situa-se sob o Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares e sobre uma região de transição entre a região geomorfológica do Planalto da Missões e a região do Planalto da Campanha. De acordo com Tonin et al (2021), a coexistência de dois grandes compartimentos vegetais dentro dos limites de Rolador, formados pela zona de transição entre o bioma Pampa e Mata Atlântica, com a presença bem marcada de áreas fisiográficas originalmente cobertas por vegetação de campo e florestas, conferem ao município uma posição geográfica singular e influenciam diretamente na dinâmica agrícola da região.

Analisando esta paisagem, Tonin et al. (2021) e Miguel (2013) descrevem a cobertura do solo do município dividida em três zonas distintas, sendo elas: uma zona que ocorre em áreas originalmente cobertas por uma vegetação de floresta, com presença de solos pedregosos, profundos e com relevo acidentado; uma zona com região de campo com solos aptos a mecanização, relevo plano e com altimetria

variando até 230 m; e uma zona composta por campo com relevo plano, mas pouco intemperizados, muito pedregosos e com afloramento de rochas subjacentes.

A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo e a Figura 2 apresenta as características do relevo do município extraídas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (WEBER et al, 2004).

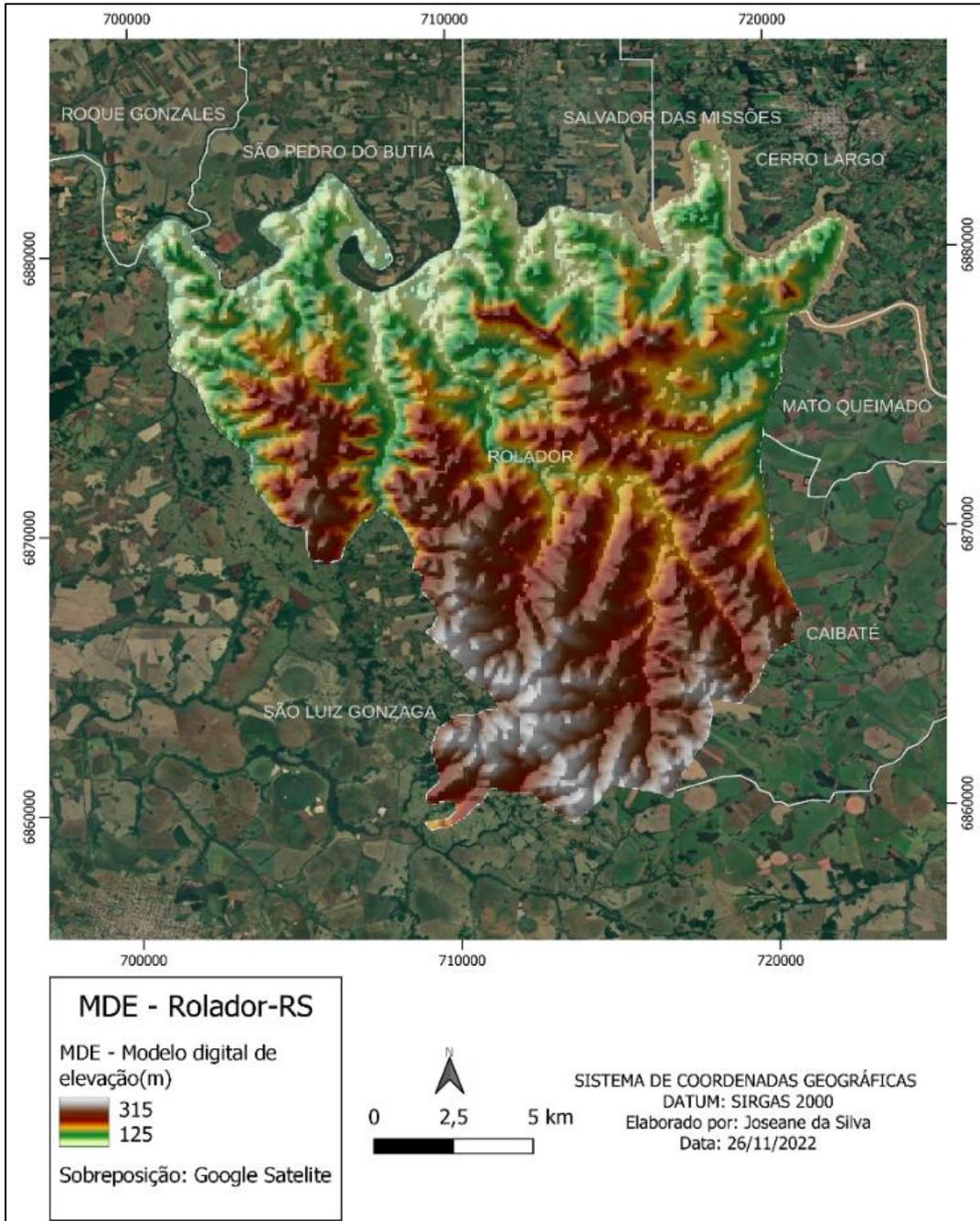
Figura 1 - Localização da área de estudo - município de Rolador-RS.



Fonte: Elaborado pela autora.

Visando o desenvolvimento regional, o município integra o Conselho Regional de Desenvolvimento das Missões/RS (COREDE Missões), um agrupamento de 25 municípios que se destacam por iniciativas que visam o aumento da produtividade agropecuária, o desenvolvimento da agroindústria, a qualificação dos indicadores sociais e o fomento ao turismo regional. A baixa qualificação da estrutura de transporte, o baixo índice de saneamento, a gradual redução da densidade demográfica e as secas e estiagens periódicas estão entre as questões que destinam maior atenção deste conselho (SEPLAN, 2015).

Figura 2 – Características do relevo - Modelo Digital de Elevação de Rolador-RS.



Fonte: WEBER, 2004. Adaptado pela autora.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTIAGEM E SEUS EFEITOS NA AGRICULTURA

Castro (2003) define a estiagem como um desastre natural que se relaciona a intensa redução das precipitações hídricas, caracterizado pelo atraso dos períodos chuvosos ou a ausência das chuvas previstas para uma determinada temporada. As causas da estiagem relacionam-se com a dinâmica atmosférica global, podendo ser dependentes de fatores ambientais globais, fatores ambientais locais influenciados por aspectos físicos, químicos ou físico-químicos do meio ambiente ou ainda por aspectos ambientais locais influenciados por fatores biológicos, em especial a cobertura vegetal.

Gross, Reis e Sausse (2014) destacam, que no estado do Rio Grande do Sul, mesmo as chuvas sendo bem distribuídas nas quatro estações do ano, as precipitações pluviais são caracterizadas pela elevada variabilidade interanual e espacial, contribuindo para acentuar as estiagens em determinadas regiões.

Braz *et al* (2017) em estudo sobre a ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul, onde caracterizaram espacialmente a ocorrência destes eventos entre o período de 2003 a 2012, verificaram que a estiagem foi o evento severo com maior ocorrência no período, representando 50,7% de frequência.

Castro (2003) ressalta que a intensidade dos efeitos da estiagem está relacionada à magnitude do evento adverso e ao grau de vulnerabilidade da economia local ao evento. Quando analisada a condição socioeconômica dos municípios gaúchos atingidos por estiagem, Gross, Reis e Sausse (2014) apontam para a vulnerabilidade econômica de municípios da região norte e noroeste do RS que possuem economia voltada majoritariamente ao setor agropecuário.

A agropecuária é um dos primeiros setores econômicos a verificarem danos na ocorrência de estiagem, desencadeando a falta de bens e serviços devido ao déficit de água e podendo ser considerada a consequência mais grave em decorrência de déficit hídrico, perdurando de uma safra de grãos a outra e promovendo acúmulos de danos.

Os resultados consolidados do crescimento econômico do RS para o segundo trimestre de 2022, quando comparado ao mesmo período de 2021, é claro ao apontar

a magnitude das perdas causadas pela estiagem que atingiu o território gaúcho durante a safra de verão de 2022. O aumento da área plantada de soja, impulsionado pelo recorde de produção da safra anterior, não ofuscou os resultados da expressiva redução do volume efetivamente colhidos. As principais construções para o desempenho negativo de 65,6% da produção agropecuária do período, vieram principalmente das retrações nas produções de soja (-54,3%), arroz (-9,8%) e milho (-31,6%) (DE-SPGG, 2022).

De acordo com Formaggio e Sanches (2009), o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao setor agrícola, que auxiliam na previsão de safras, no monitoramento de culturas e na avaliação da extensão de áreas de cultivo, tem apresentado um avanço constante, melhorando a eficiência e produtividade agropecuária. A tecnologia de sensoriamento remoto tem sido utilizada para uma variedade de aplicações no campo da agricultura, que vão desde a avaliação do estado nutricional e híbrido em plantas até a detecção de plantas daninhas e insetos, oferecendo um resultado rápido e com confiabilidade (SCHEPERS, 2001).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Jensen (1949), em um contexto simplificado, define sensoriamento remoto como a coleta de dados científicos a alguma distância remota do objeto em apreço. Para Meneses e Almeida (2012), sensoriamento remoto é definido como uma técnica de obtenção das imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.

De acordo com Jensen (1949), o procedimento de coleta e análise dos dados de sensorimanto remoto, realizados sistematicamente, envolvem o processo de estabelecimento do problema, a coleta dos dados, o processamento dos dados e finalmente a apresentação da informação, constituída de metadados, de uma avaliação de exatidão, apresentada na forma de imagens analógicas ou digitais, e de dados estatísticos e gráficos.

Segundo Furtado *et al* (2020), a utilização de sensoriamento remoto constitui uma ferramenta economicamente viável para o monitoramento agrícola de uma propriedade, pois as informações contidas nas imagens orbitais fornecem respostas rápidas, confiáveis e essenciais para o mapeamento eficiente dessas áreas.

2.2.1 O espectro eletromagnético

Sabendo que a radiação eletromagnética de cada comprimento de onda interage de forma distinta e com instensidades diferentes com os objetos terrestres, um dos parâmetros mais importantes para definir as características de um sensor são os comprimentos de onda das imagens que o sensor irá adquirir (MENESES E ALMEIDA, 2012). As imagens não são definidas num específico comprimento de onda, mas abrangendo pequenos intervalos, chamados bandas espectrais. A Figura 3 apresenta os intervalos espectrais possíveis de serem usados pelos sensores remotos.

Figura 3 - Intervalos espectrais.

0,45 – 0,76 μm <i>visível</i>	0,76 – 1,2 μm <i>infravermelho próximo</i>	1,2 – 3,0 μm <i>infravermelho de ondas curtas</i>	3,0 – 5,0 μm <i>infravermelho médio</i>	5,0 μm – 1 mm <i>infravermelho termal</i>	1mm– 100 cm <i>micro-ondas</i>
toda faixa	0,76 – 0,91 1,00 – 1,12	1,19 – 1,34 1,55 – 1,75 2,05 – 2,40	3,5 – 4,2 4,5 – 5,0	8,0 – 9,2 10,2 – 12,5	3,0 – 100

Fonte: MENESES E ALMEIDA, 2012.

2.2.2 A resolução das imagens digitais

Em termos de resolução de imagens, Meneses e Almeida (2013) descrevem este conceito em quatro formas de medidas, sendo eles: a resolução espacial, a resolução espectral, a resolução radiométrica e a resolução temporal. A resolução espacial corresponde ao tamanho individual do elemento de área imageada no terreno e determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem. Já a resolução espectral está relacionada ao número de bandas que o sensor possui, a largura em comprimento de onda das bandas e as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético. A resolução radiométrica refere-se à intensidade de radiância, medida pelos detectores, da área de cada pixel unitário, determinando o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar. Por fim, a resolução temporal refere-se à frequência que um sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas ao longo de sua vida útil.

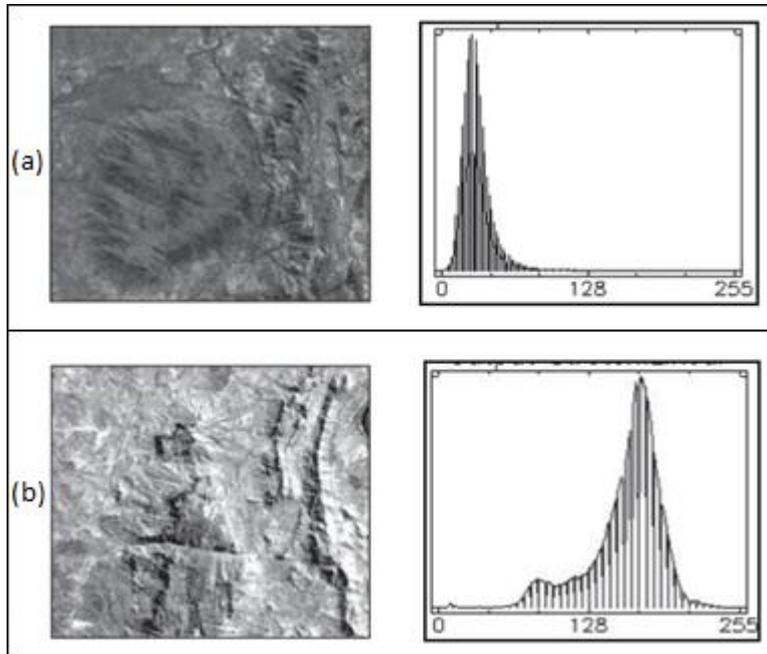
2.2.3 Representação de imagens digitais através de histograma e boxplot

Dados digitais das bandas individuais de um sensor podem ser computados na forma de um gráfico de barras, onde as alturas das barras indicam a quantidade de números de pixels presentes na imagem, com um determinado valor de brilho. Esta representação, na forma de histograma, é uma representação estatística da distribuição de frequências de uma variável quantitativa, e é utilizado em qualquer estudo para representar uma grande quantidade de dados numéricos. A análise do histograma envolve basicamente três parâmetros: a tendência central, a variabilidade e a forma (MENESES E ALMEIDA, 2013).

A forma de um histograma informa onde estão concentrados os dados. Na Figura 4a, o histograma tem uma forma simétrica com média baixa de valores de níveis de cinza e com distribuição fechada, ou seja, baixa variância, a imagem tendo classes de alvos com baixa reflectância e baixo contraste, com aparência visual escura. No caso da Figura 4b, a média é alta, isso é, visualmente, a imagem é clara, com uma variância moderada, portanto, com um moderado constraste espectral dos alvos (MENESES E ALMEIDA, 2013).

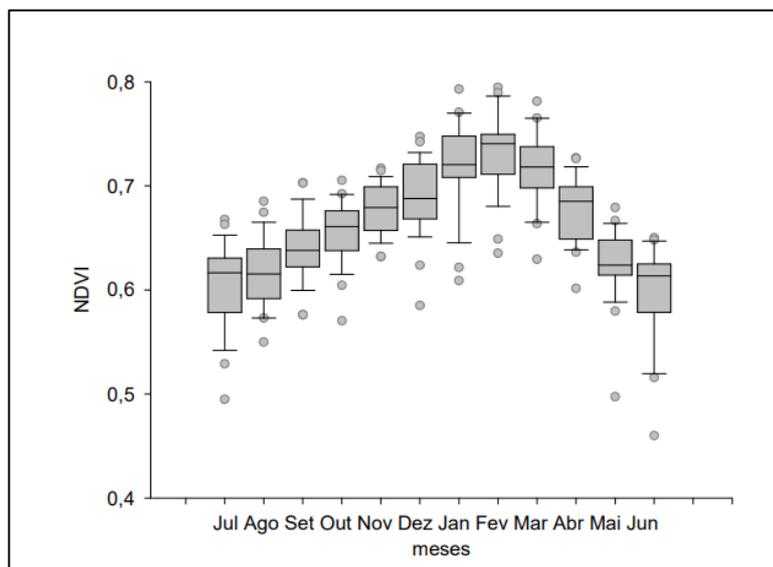
Cordeiro (2014), em um estudo sobre a variação anual do NDVI médio do Rio Grande do Sul, apresenta a dispersão dos dados obtidos em um gráfico de caixas, ou boxplot, verificando maior variabilidade de NDVI médio do Rio Grande do Sul entre os anos, nos meses de dezembro, abril e julho, enquanto que a menor variabilidade entre os anos é observada em maio e setembro. A Figura 5 apresenta um boxplot representando uma distribuição dos dados de NDVI.

Figura 4 - Histograma exemplificando as variáveis de tendência central de distribuição dos dados, variabilidade e forma.



Fonte: MENESES E ALMEIDA, 2013.

Figura 5 - Boxplot exemplificando a distribuição dos dados de NDVI.



Fonte: CORDEIRO, 2014.

Dentre as aplicações desenvolvidas com o uso do sensoriamento remoto voltadas para a agricultura estão o estudo de rendimento e mapeamento de safras

agrícolas (BERLATO E FONTANA, 1999), a avaliação de impactos ambientais e alterações na paisagem (CARDOSO ET AL, 2015; CHECHI ET AL, 2021), o efeito de mudanças climáticas sobre cobertura de solo (JACOBSEN ET AL, 2004; SARTORI, 2009; SOARES ET AL, 2017), a avaliação de danos causados por eventos extremos e a disponibilização de dados para sistemas de informações agropecuárias.

Para a interpretação dos dados obtidos através de sensoriamento remoto são utilizados um conjunto de softwares, hardwares e procedimentos que efetuam o processamento e a análise de informações com referências geográficas. Esses softwares são chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e o software QGIS é um exemplo de SIG que realiza processamentos de dados georreferenciados.

Dentre as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas no monitoramento agrícola, destacam-se os índices de vegetação, que se utilizam da divisão de bandas visando o realce das variações da densidade da cobertura vegetal, refletindo o desenvolvimento de uma cultura, uma vez a vegetação em bom desenvolvimento absorve radiação na região do visível durante a atividade fotossintética (FURTADO ET AL, 2020).

As técnicas de classificação digital de imagens são utilizadas para automatizar o processo de extração de informações das imagens, eliminando a subjetividade da interpretação humana, sendo o produto final da classificação uma imagem digital constituída por um mapa de pixels classificados, representando em polígonos os padrões homogêneos de classes de alvos, constituindo um mapa digital temático. (MENESES E ALMEIDA, 2012).

As características das classes a que são estimadas as amostras de treinamento dependentes do método de classificação que é utilizado, sendo o método de classificação por distância mínima o mais simples, que calcula a distância espectral entre o vetor de medida para o pixel candidato e a média para cada assinatura de classe (MENESES E ALMEIDA, 2012).

2.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais que, em geral, realçam o comportamento espectral da vegetação e se relacionam com a abundância relativa e parâmetros biofísicos da vegetação (KUPLICH *et al*, 2013).

Embora existam diversificados índices de vegetação, atualmente o mais utilizado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (KUPLICH *et al*, 2013).

O NDVI foi proposto por Rouse *et al* (1974) para separar a vegetação verde do solo exposto. É calculado através da razão entre a diferença da reflectância detectada na região do vermelho (0,58-0,68 μ m) e do infravermelho próximo (0,725-1,1 μ m) e a soma dessas quantidades. Nesse sentido, quanto mais vigorosa é a vegetação, maior é a absorção de radiação visível para a fotossíntese, refletindo radiação na região do infravermelho próximo. Seu intervalo varia de -1 a +1 e é representado pela Equação 1.

Equação 1: Equação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v)$$

Em que:

ρ_{ivp} : é a reflectância no infravermelho próximo;

ρ_v : é a reflectância no vermelho.

A utilização de índices de vegetação associados às variáveis climáticas tem contribuído para o avanço nas pesquisas das relações que se estabelecem entre o clima e a vegetação (WAGNER, 2013).

Mais do que proporcionar uma visão de como a cobertura vegetal encontra distribuída na superfície, o NDVI permite um estudo da dinâmica da cobertura, evidenciando as variações apresentadas por ela em decorrência de forçantes climáticas isoladas, dos ciclos fenológicos anuais e de eventos episódicos, como é o caso do El Niño e La Niña. (Jacobsen *et al*, 2004, p. 130)

Estudos de Kuplich *et al*. (2013) e Cordeiro (2014) identificaram padrões sazonais em séries temporais de índices de vegetação, obtidos por sensores orbitais, identificando regularidade na dinâmica das tipologias vegetais, permitindo a observação de anomalias e os efeitos das mudanças climáticas em regiões do Rio Grande do Sul.

Jacobsen *et al*. (2004) avaliaram em seu trabalho os efeitos de variações climáticas sobre o crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal e sua

evolução temporal, relacionando mapas de índices de vegetação com dados de precipitação pluvial em períodos de El Niño e La Niña, apresentando correlação de variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI e a ocorrência destes fenômenos climáticos.

Wagner (2013) descreve em seu trabalho os padrões da dinâmica espaço/temporal dos índices de vegetação do Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai, identificando a relação que se estabelece entre eles e a variabilidade climática interanual, concluindo que índices de vegetação apresentam potencial para retratar as relações entre a variabilidade espaço-temporal dos padrões de vegetação campestre e o clima característico deste bioma.

A distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais que incluem as condições climáticas, a topografia, os solos e as suas propriedades associadas, tornando-se um indicador das condições ambientais do meio (RIZZI E FONSECA, 2001).

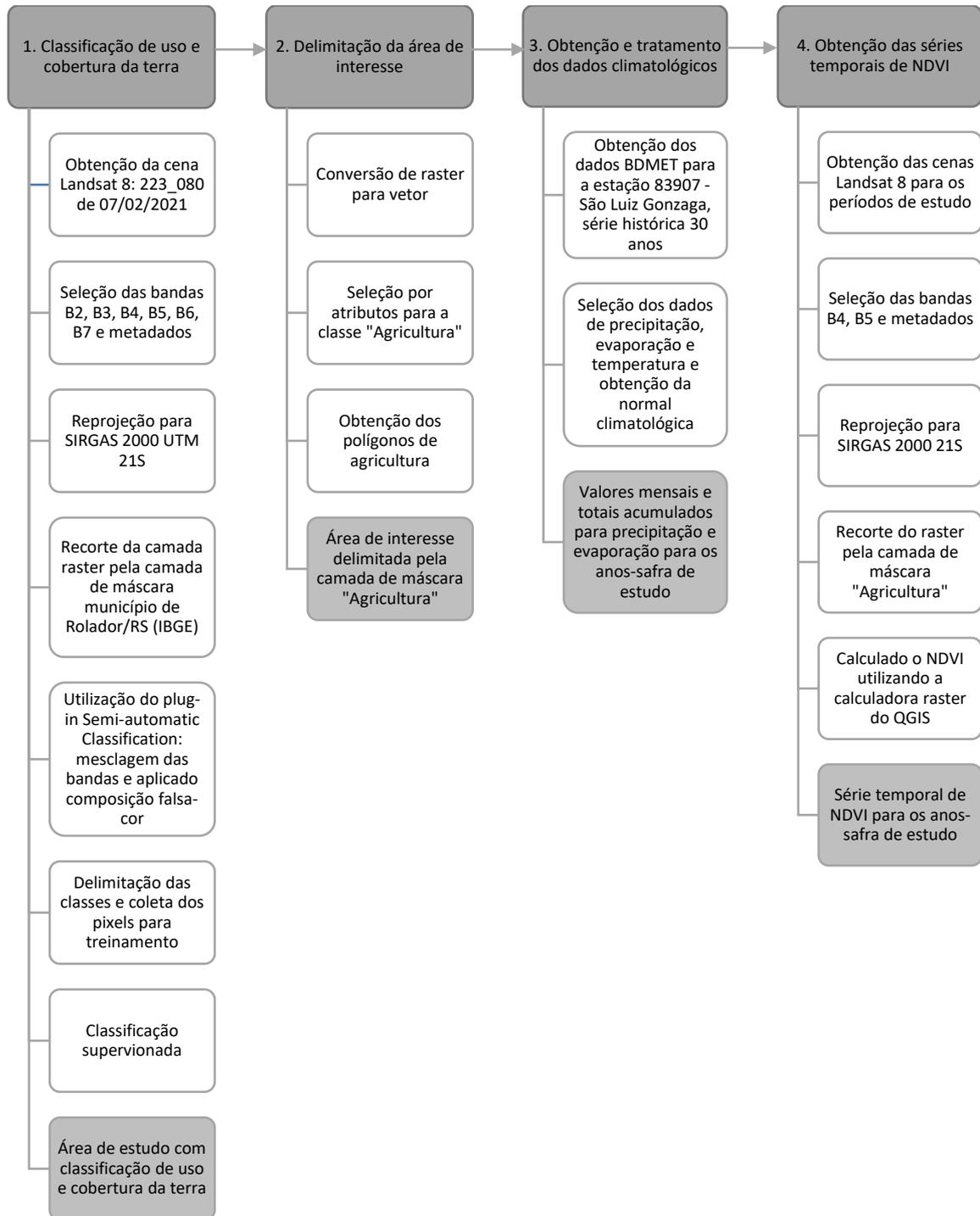
3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados os seguintes materiais, dados e softwares: a) QGIS 3.26; b) Microsoft Excel 2016; c) dados espaciais disponibilizados no Banco de Dados USGS Earth Explorer; d) dados meteorológicos do Banco de Dados Meteorológicos do INMET; e) dados conjunturais de produção e produtividade agropecuária disponibilizados pela Emater/RS.

O processo metodológico utilizado foi dividido em quatro etapas principais: a classificação de uso e cobertura da terra; a delimitação da área de interesse; a obtenção e tratamento dos dados climatológicos; e a obtenção de séries temporais de NDVI. A Figura 66 apresenta o fluxograma contendo as etapas do processo metodológico.

Figura 6 - Fluxograma do processo metodológico.



Fonte: elaborado pela autora.

3.1.1 Classificação de uso e cobertura da terra

A metodologia utilizada para a classificação de uso e cobertura da terra e para a delimitação da área de interesse foi adaptada da metodologia proposta por Araújo

(2010) e Nóbrega (2016), que utilizaram o método de classificação digital supervisionada, modalidade pixel a pixel, para a obtenção de uma máscara de áreas plantadas com cultivos de primavera-verão e análise do padrão temporal de evolução do NDVI deste cultivo.

Para a classificação de uso e cobertura da terra, foi utilizada uma cena registrada em 07/02/2021 pelo satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operacional Land Imager*), órbita 223, ponto 080, bandas B2, B3, B4, B5, B6 e B7, de resolução espacial de 30 metros e comprimentos de onda descritos na Tabela 1 e adquirida no sítio da USGS Earth Explorer. A escolha desta imagem deu-se pelo alto vigor vegetativo presente na cobertura do solo na data de coleta e pela ausência de nuvens na cena registrada pelo satélite.

Tabela 1: Comprimentos de onda das bandas espectrais utilizadas.

Landsat 8	
Operational Land Imager (OLI)	Comprimento de onda (micrômetro)
Banda 2 - Blue	0,45 - 0,51
Banda 3 - Green	0,53 - 0,59
Banda 4 - Red	0,64 - 0,67
Banda 5 – Near Infrared (NIR)	0,85 - 0,88
Banda 6 – Swir 1	1,57 - 1,65
Banda 7 – Swir 2	2,11 - 2,29

Fonte: Site USGS Earth Explorer¹.

Inicialmente as camadas foram adicionadas ao software QGIS 3.26 e reprojetadas para o hemisfério sul, sistema de referência SIRGAS 2000 e projeção UTM Fuso 21S. A seguir as camadas foram recordadas utilizando a ferramenta *'recortar raster pela camada de máscara'*, utilizando a camada correspondente ao município de Rolador, obtida a partir do arquivo formato *shapefile* da malha municipal do RS disponível no site do IBGE.

Utilizando o complemento *Semi Automatic Classification Tool*, foi realizada uma classificação supervisionada pelo método de mínima distância, onde as bandas B2, B3, B4, B5, B6 e B7 foram compostas em um mesmo arquivo, a imagem resultado foi recortada utilizando as feições do limite municipal da área de estudo e foi aplicada a essa nova camada uma composição colorida falsa-cor, para o auxílio na visualização

¹ Disponível em: < <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>> Acesso em dez. 2022.

durante a seleção dos polígonos de treinamento para as diferentes classes de uso e cobertura da terra.

Este complemento realiza uma classificação temática de forma supervisionada, através da identificação das assinaturas espectrais dos alvos fornecidos pelo usuário para uma dada classe temática, utilizando um algoritmo de classificação pixel a pixel, onde o comportamento espectral do alvo constitui o principal elemento classificatório.

A seguir, baseado na observação da imagem, foram definidas 6 classes de cobertura da terra, sendo elas: água, agricultura, solo exposto, floresta nativa, pastagem e zona urbana e coletados manualmente os polígonos contendo os pixels representativos para cada classe temática. Após as amostras foram sobrepostas com a imagem Landsat 8 composta e realizada a classificação supervisionada.

A etapa de classificação consiste em uma análise das assinaturas espectrais dos conjuntos de pixels fornecidos para cada classe, onde é feita uma distribuição estatística dos valores de reflectância para cada banda e extrapolado para toda a imagem, onde a partir de funções de probabilidade é atribuída a classe a que determinado pixel pertence, obtendo assim um mapa temático.

3.1.2 Delimitação da área de interesse

A delimitação da área de interesse é obtida a partir da camada contendo a distribuição dos pixels da área de estudo em classes temáticas, onde esta camada é convertida em uma camada vetorial e utilizando uma seleção por atributos, são selecionados somente os polígonos correspondentes a classe Agricultura, delimitando assim a área de interesse.

3.1.3 Obtenção e tratamento dos dados climatológicos

A fim de caracterizar climatologicamente um período com características de estiagem e um período com características de normalidade, foram selecionados os dados climatológicos para o período-safra de 2021/2022 e para o período da safra anterior, 2020/2021, considerado de normalidade climática. Os dados referentes à precipitação, evaporação e temperatura máxima utilizados nesta pesquisa, foram extraídos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET no site do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMET,

correspondente a estação climatológica 83907 – São Luiz Gonzaga, referente ao período de 1992 a 2021, compondo uma série histórica de 30 anos e dados referentes ao período da safra 2021/2022. Esta estação climática está localizada entre as coordenadas latitude -28.42 e longitude -54.96, distante 25 km da sede municipal de Rolador. Para este conjunto de dados, foi calculado o valor da média histórica mensal, representando as normais climatológicas mensais para esta região, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Normal climatológica para a estação 83907 - São Luiz Gonzaga.

Normais climatológicas (1992 – 2021) - Estação 83907 São Luiz Gonzaga			
Mês de referência	Precipitação média histórica (mm)	Evaporação média histórica (mm)	Temperatura máxima média histórica (°C)
Jan	176,0	135,2	32,7
Fev	160,3	106,4	31,8
Mar	160,6	106,1	30,6
Abr	190,1	93,6	27,6
Mai	169,1	73,0	23,1
Jun	132,6	65,3	21,1
Jul	120,9	76,4	20,7
Ago	107,3	100,5	23,4
Set	150,1	100,4	24,6
Out	268,9	110,4	27,4
Nov	168,5	139,0	30,2
Dez	192,1	149,3	32,2

Fonte: BDMET/INMET. Adaptado pela autora.

O período de setembro a março foi selecionado para a análise das anomalias climáticas, por compreender um período de completo desenvolvimento da principal cultura de verão da região.

Cardoso *et al* (2020), analisando a estiagem ocorrida durante a safra de 2019/2020 no RS, selecionam os meses de novembro a março para uma caracterização climática do período, destacando a importância da caracterização das condições meteorológicas para um melhor entendimento da relação clima-planta, minimizando assim o risco climático associado à atividade agropecuária.

3.1.4 Obtenção das séries temporais de NDVI

De acordo com Cordeiro (2014), variações fenológicas da vegetação em decorrência da sua dinâmica temporal podem ser observadas através de perfis

temporais de NDVI, estando essa relação associada com as condições meteorológicas, em especial a precipitação pluvial durante o verão.

Buscando acompanhar a variação do vigor vegetativo da área de estudo e tendo a soja como cultura de maior relevância no município, o período escolhido para a seleção das imagens utilizadas para a composição da série temporal de NDVI foi o período de novembro a abril, estando este compreendido no calendário de semeadura e colheita de soja no RS recomendado por CONAB (2020). Para esta análise são utilizadas cenas do satélite Landsat 8, sensor OLI, resolução espacial de 30 metros, bandas B4 e B5 e metadados, adquirida no sitio da USGS Earth Explorer.

Utilizando o software QGIS 3.26, as bandas B4 e B5 das imagens relacionadas na Tabela 3, são adicionadas ao projeto e reprojetaadas para o hemisfério sul, sistema de referência SIRGAS 2000 e projeção UTM Fuso 21S. Após as camadas foram recortadas utilizando a ferramenta *'recortar raster pela camada de máscara'*, utilizando como camada de base as feições dos polígonos de agricultura delimitados na etapa anterior. Na sequência, utilizando a ferramenta *'calculadora raster'* e aplicando a Expressão 1, o índice de vegetação é calculado e é associado para cada imagem/mês um mapa com a distribuição do índice de vegetação ao longo de toda a área de interesse.

Por fim, os mapas contendo as séries temporais de distribuição do NDVI, em associação aos dados climáticos e dados conjunturais de produção e produtividade

agropecuária disponibilizados por Emater/RS, são interpretados e relacionados ao comportamento da cobertura do solo para os anos-safra em estudo.

A Tabela 3 apresenta a especificação do sensor e as cenas utilizadas para compor as séries temporais de NDVI para os períodos em análise.

Tabela 3: Especificação do sensor e cenas utilizadas para a composição das séries temporais de NDVI.

SATÉLITE	SENSOR	ANO-SAFRA	ÓRBITA_PONTO	DATA
Landsat 8	OLI (Operacional Land Imager)	2020/21	223_080	19/11/2020
			223_080	21/12/2020
			224_080	13/01/2021
			223_080	07/02/2021
			223_080	11/03/2021
			223_080	28/04/2021
		2021/22	223_080	22/11/2021
			224_080	31/12/2021
			223_080	25/01/2022
			223_080	26/02/2022
			224_080	21/03/2022
			223_080	15/04/2022

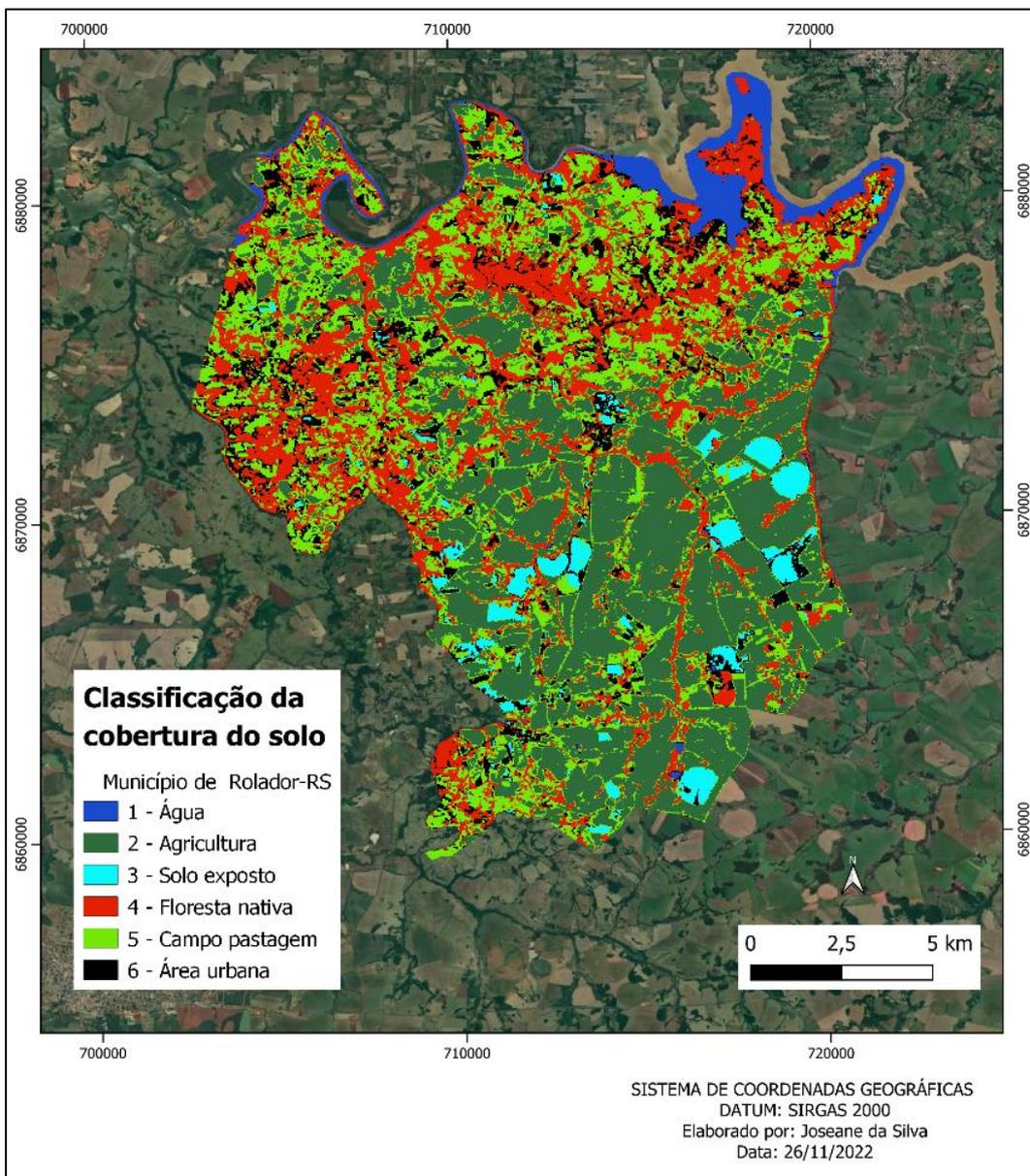
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Formaggio et al (1989), para a definição das melhores datas de obtenção de dados do satélite, que possibilitem a discriminação de alvos, é necessário o conhecimento do calendário das culturas em estudo, pois assim torna-se possível observar se existe um determinada época do ano em que elas exibem diferenças em seus estágios de desenvolvimento, o que resulta em diferenças nas respostas espectrais destas culturas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

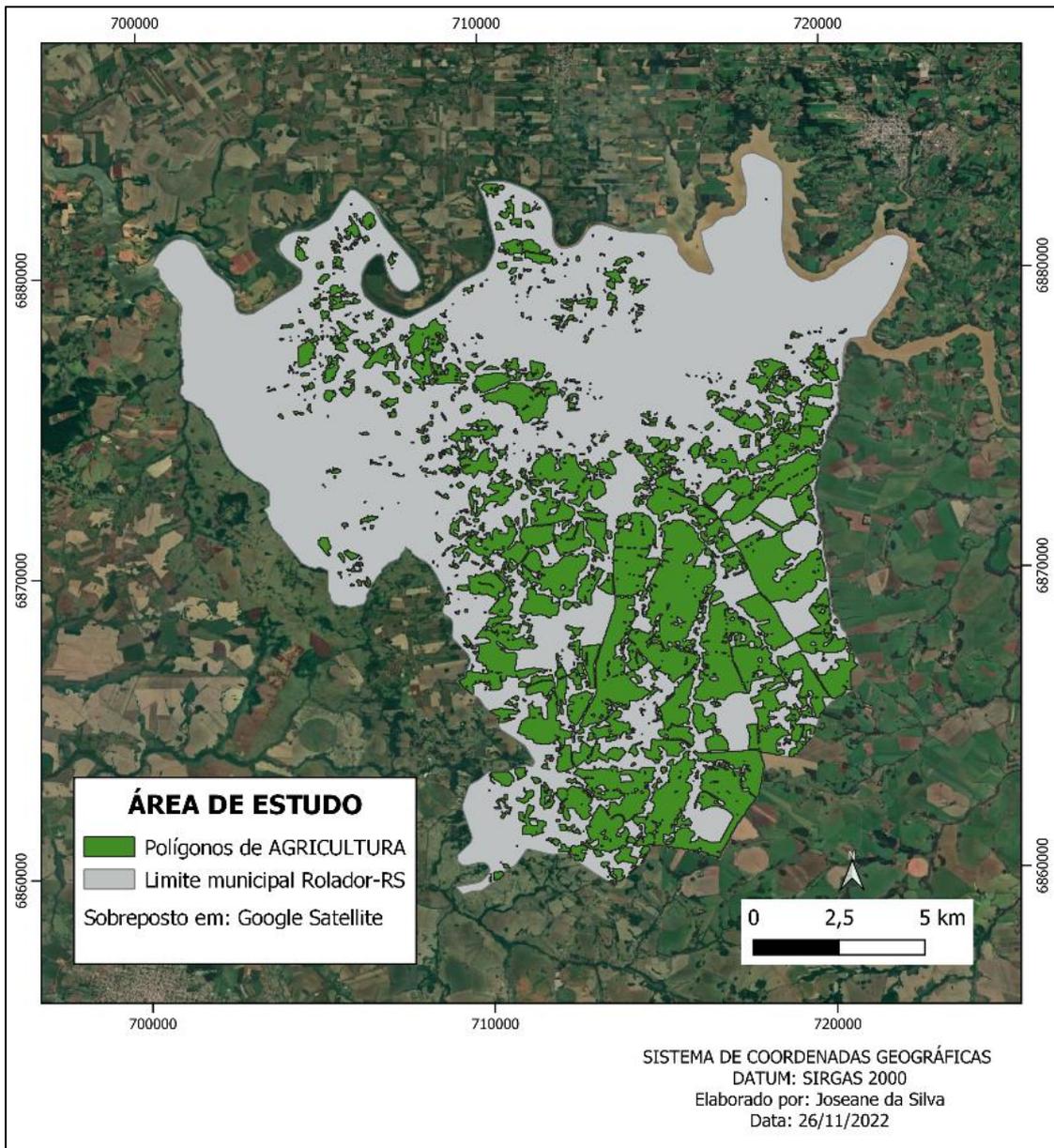
A partir da metodologia utilizada foi possível realizar a classificação de uso e cobertura da terra e delimitar a região de interesse. A Figura 7 apresenta o mapa de classificação de uso e cobertura obtida para o município de Rolador e a Figura 8 apresenta os polígonos selecionados, classificados como Agricultura, formando a área de interesse. A área de interesse deste estudo possui um total de 9.238,77 ha, correspondendo a 31,3% do território do município.

Figura 7 - Classificação de uso e cobertura da terra do município de Rolador-RS.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8 - Delimitação da área de estudo: polígonos com classificação de agricultura.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

De acordo com estudos de Braz, Pinto e Campos (2017), dentre os eventos climáticos extremos registrados no Rio Grande do Sul, durante os períodos de primavera-verão, a estiagem apresenta a ocorrência com maior frequência, sendo a metade norte do estado a região mais atingida naquele período de estudo. A ocorrência destes eventos durante o ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas

pode acarretar perdas de rendimento de grãos e, conseqüentemente, uma redução na estimativa de safras.

Berlato e Fontana (1999) abordam o assunto, considerando que períodos de estiagem ocorridos principalmente entre os meses de dezembro a março constituem a principal adversidade climática para culturas de soja, sendo a distribuição da precipitação anual um fator determinante para o rendimento desta cultura no Rio Grande do Sul. Deste modo, a caracterização climática da safra agrícola possibilita a compreensão dos efeitos climáticos sobre cada estágio fenológico da cultura.

4.1.1 Caracterização climática da safra agrícola 2020/2021

A safra agrícola do verão de 2020/2021 no Rio Grande do Sul foi caracterizada pela ocorrência do fenômeno climático La Niña de baixa intensidade, com atuação de julho de 2020 a abril de 2021. De acordo com dados do INMET/BDMET, apresentados na estes períodos.

Tabela 4, os volumes acumulados de precipitação registrados entre setembro/2020 a março/2021 somaram 944,4mm, representando anomalia negativa de 95,2mm de chuvas no período. Apesar do baixo volume de precipitação nesse período, temperaturas máximas abaixo da média garantiram os baixos volumes de vaporização e a manutenção de água no solo.

Berlato e Fontana (1999) relacionam a variabilidade interanual da precipitação com o rendimento da produção agrícola no estado do Rio Grande do Sul, apontando a ocorrência de chuvas durante os meses de janeiro a março, período críticos para as culturas de verão, como fator limitante ao rendimento da soja neste estado.

Analizando os dados de precipitação pluviométrica na estes períodos.

Tabela 4, verificam-se volumes abaixo da média para os meses de setembro, outubro, dezembro e fevereiro, e volumes com desvios positivos nos meses novembro, janeiro e março, registrando um volume acumulado abaixo da média, mas com baixo potencial de comprometimento de safras de verão. A ausência de dados disponíveis para evaporação nos meses setembro, outubro e novembro/2020 foram impeditivos para o cálculo de volumes acumulados e desvio da normal para este ano/safra.

Jacobsen (2004) destaca a relação entre fatores ambientais e a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região, citando as alterações

registradas no clima e na cobertura vegetal no Rio Grande do Sul em períodos de La Niña e El Niño, esperando que essa cobertura sofra alterações durante estes períodos.

Tabela 4: Desvios da normal climatológica. Estação climatológica 83907: São Luiz Gonzaga, ano-safra 2020/2021.

Desvios da normal climatológica Estação 83907: São Luiz Gonzaga - Safra verão 2020/2021				
Mês Referência	Precipitação		Evaporação	
	Total mensal (mm)	Desvios da normal (mm)	Total mensal (mm)	Desvios da normal (mm)
Setembro/2020	98,8	-51,3	-	-
Outubro/2020	54,4	-214,5	-	-
Novembro/2020	100,2	168,5	-	-
Dezembro/2020	161,1	-31,0	148,7	-0,6
Janeiro/2021	258,4	82,4	129,4	-5,8
Fevereiro/2021	72,5	-87,8	106,4	0
Março/2021	199,0	38,4	104,6	-1,5
Acumulado na safra	944,4	-95,2	-	-

Fonte: BDMET/INMET. Adaptado pela autora.

4.1.2 Caracterização climática da safra agrícola 2021/2022

A elevada demanda evaporativa causada pela intensa onda de calor que atingiu todo o estado do RS, associado aos baixos volumes e irregularidade de precipitação pluvial caracterizaram a safra de verão de 2021/2022. Anomalias climáticas foram registradas em grande parte do período da safra, com a ocorrência de precipitação regular somente ao final da safra, quando as perdas dos cultivos de verão já haviam sido consolidadas. A Tabela 5 apresenta os valores acumulados de precipitação e evaporação para o período, com destaque para o total acumulado de evaporação superando o total precipitado.

De acordo com Campo (2005), a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento de culturas de soja está entre 20°C e 30°C. Sob temperaturas menores ou iguais a 10°C ou temperaturas acima de 40°C, a soja sofre redução de crescimento ou distúrbios na floração e diminuição na capacidade de retenção de vagens.

Tabela 5: Desvios da normal climatológica, estação 83907: São Luiz Gonzaga, ano-safra 2021/2022.

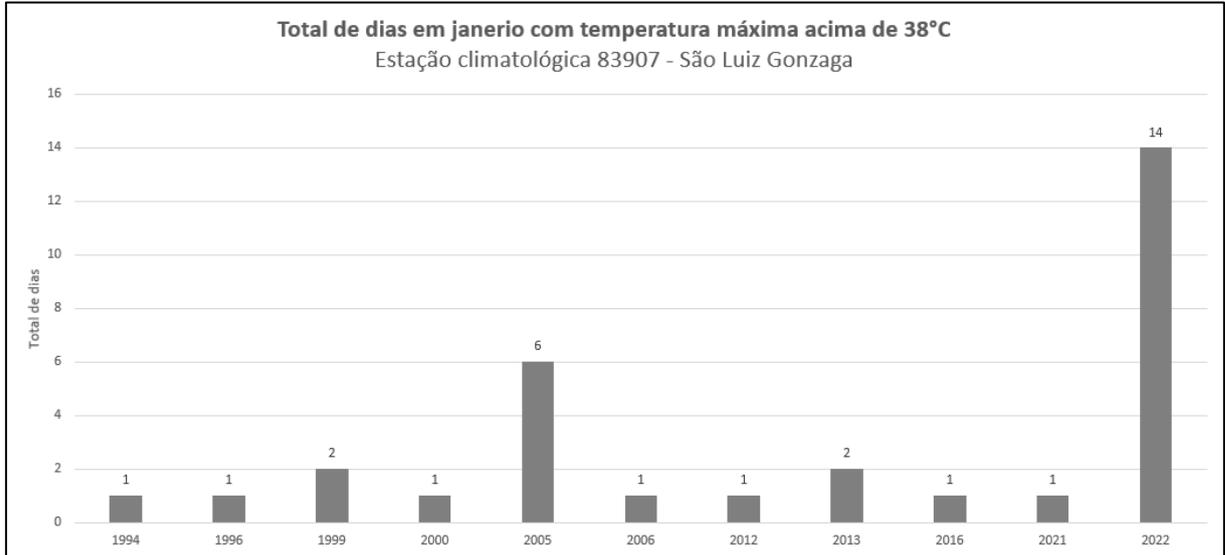
Desvios da normal climatológica				
Estação 83907: São Luiz Gonzaga - Safra verão 2021/2022				
Mês Referência	Precipitação		Evaporação	
	Total mensal (mm)	Desvios da normal (mm)	Total mensal (mm)	Desvios da normal (mm)
Setembro/2021	150,1	9,5	87,8	-12,6
Outubro/2021	234,9	-34,0	115,2	4,8
Novembro/2021	54,8	-113,7	155,7	16,7
Dezembro/2021	55,3	-136,8	208,9	59,6
Janeiro/2022	70,1	-105,9	229,6	94,4
Fevereiro/2022	47,5	-112,8	193,4	87,0
Março/2022	255,8	95,2	113,8	7,7
Acumulado na safra	868,5 mm	-398,5 mm	1.101,4 mm	257,6 mm

Fonte: BDMET/INMET. Adaptado pela autora.

O valor médio histórico de temperatura máxima diária para a estação climatológica de São Luiz Gonzaga no mês de janeiro é de 32,7°C, com o valor pico na série histórica de 39,2°C registrado no ano de 1994. A análise do mês de janeiro de 2022 aponta para a temperatura máxima média mensal de 36,7°C (anomalia positiva de 4°C), com o registro de 14 dias com temperaturas acima de 38°C, sendo onze destes consecutivos e atingindo a marca histórica de 42,2°C. A Figura 9 apresenta os anos com ocorrência de temperaturas máximas diárias acima de 38°C em janeiro, na série histórica, para esta estação climática e a Figura 10 destaca as marcas registradas neste último mês de análise, evidenciando as anomalias de temperatura ocorridas em janeiro de 2022.

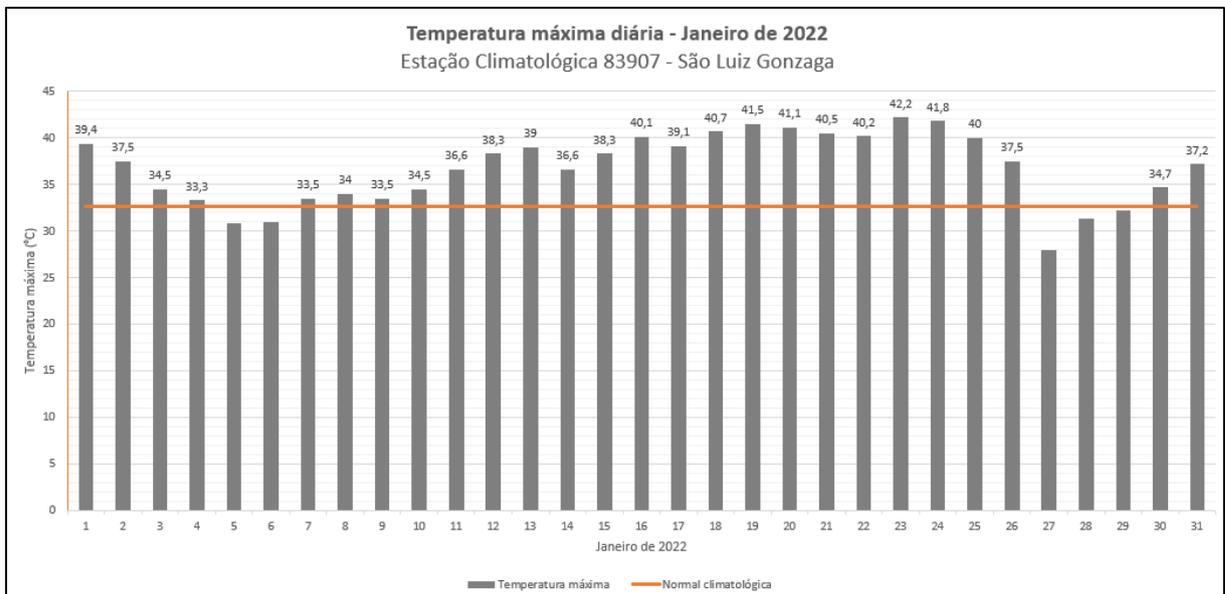
Conforme Emater/RS-Ascar (2022a), os valores elevados de temperaturas máximas do ar ocorreram em praticamente todas as regiões ecoclimáticas do Estado, com registro de uma intensa onda de calor com a média das temperaturas máximas de janeiro acima da média histórica.

Figura 9 - Anos da série histórica com maior registro de dias com temperatura máxima acima de 38°C em janeiro, para a estação climatológica de São Luiz Gonzaga.



Fonte: BDMET/INMET. Adaptado pela autora.

Figura 10 - Temperatura máxima diária registrada na estação climatológica de São Luiz Gonzaga em janeiro de 2022.



Fonte: BDMET/INMET. Adaptado pela autora.

4.2 SAFRA 2020/2021: SÉRIE TEMPORAL DO NDVI PARA O PERÍODO DE NORMALIDADE

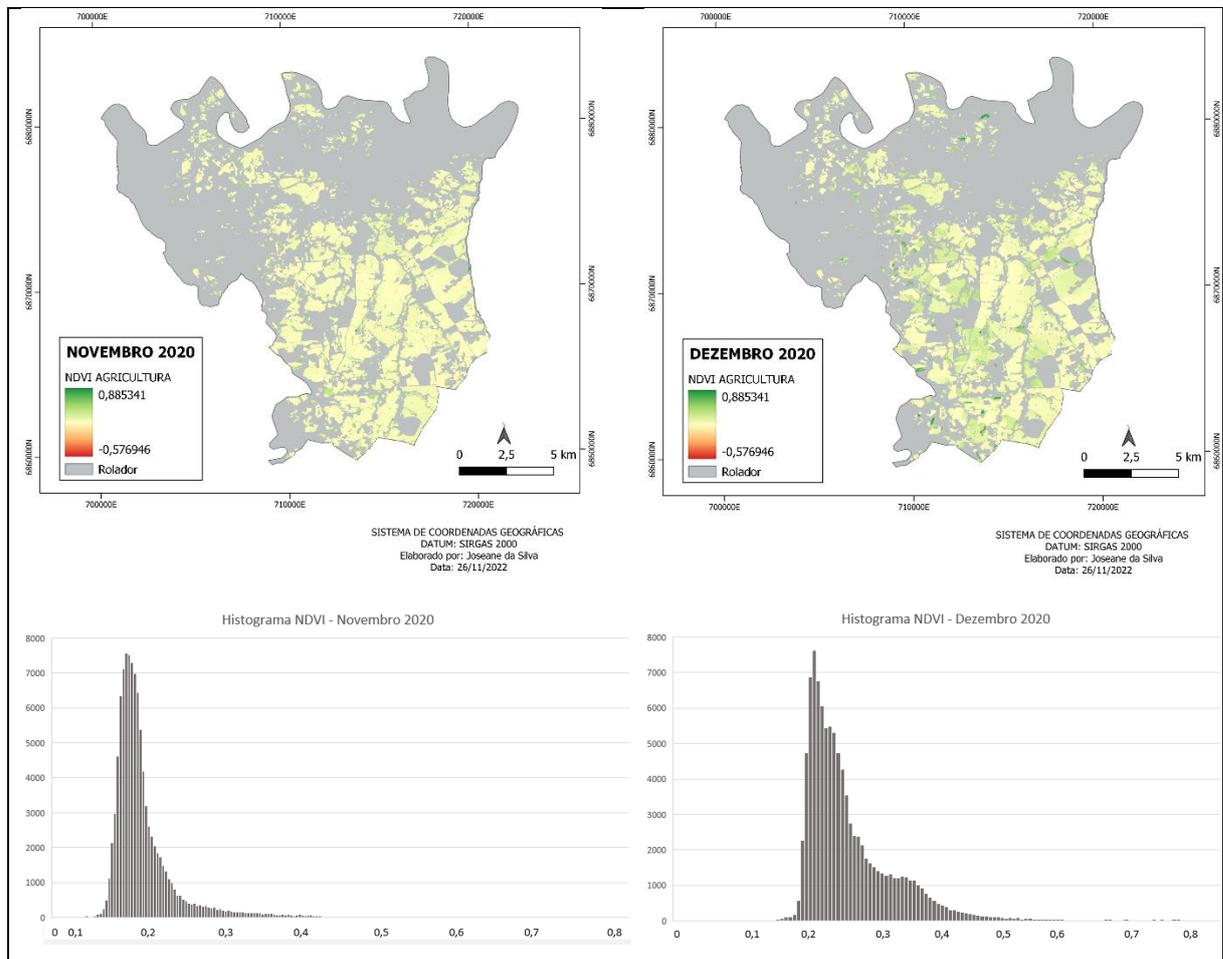
4.2.1 Resultados para novembro e dezembro de 2020

Os mapas com os resultados do NDVI e o histograma de distribuição e frequência dos pixels na área de estudo, para os meses de novembro e dezembro de 2020 são apresentados na Figura 11. Os resultados obtidos para o mês de novembro apresentam uma cena homogênea, contendo uma alta frequência de pixels com valores do índice distribuídos entre 0,1 e 0,3. Esta distribuição apresenta características similares as relacionadas a cobertura de solo exposto, descritas por Soares, Nóbrega e Filho (2017).

Os resultados obtidos para o mês de dezembro apresentam um sensível incremento do índice. A distribuição dos valores de NDVI, ainda concentrada entre 0,1 e 0,3, agora reflete com aumento da frequência dos pixels com índice de 0,4, compatível com o aumento gradual da cobertura vegetal na área de estudo, associada à expansão da área foliar.

De acordo com Emater/RS-Ascar (2020), novembro de 2020 foi marcado pelo período de semeadura dos plantios de verão, tempo seco e volumes acumulados de chuva muito baixos na região de estudo. O mês seguinte apresentou as características de uma safra de normalidade, registrando bom volumes de chuvas, a conclusão do plantio da safra de soja e o início da germinação com plantas apresentando bom aspecto.

Figura 11 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de novembro e dezembro de 2020.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Resultados para janeiro e fevereiro de 2021

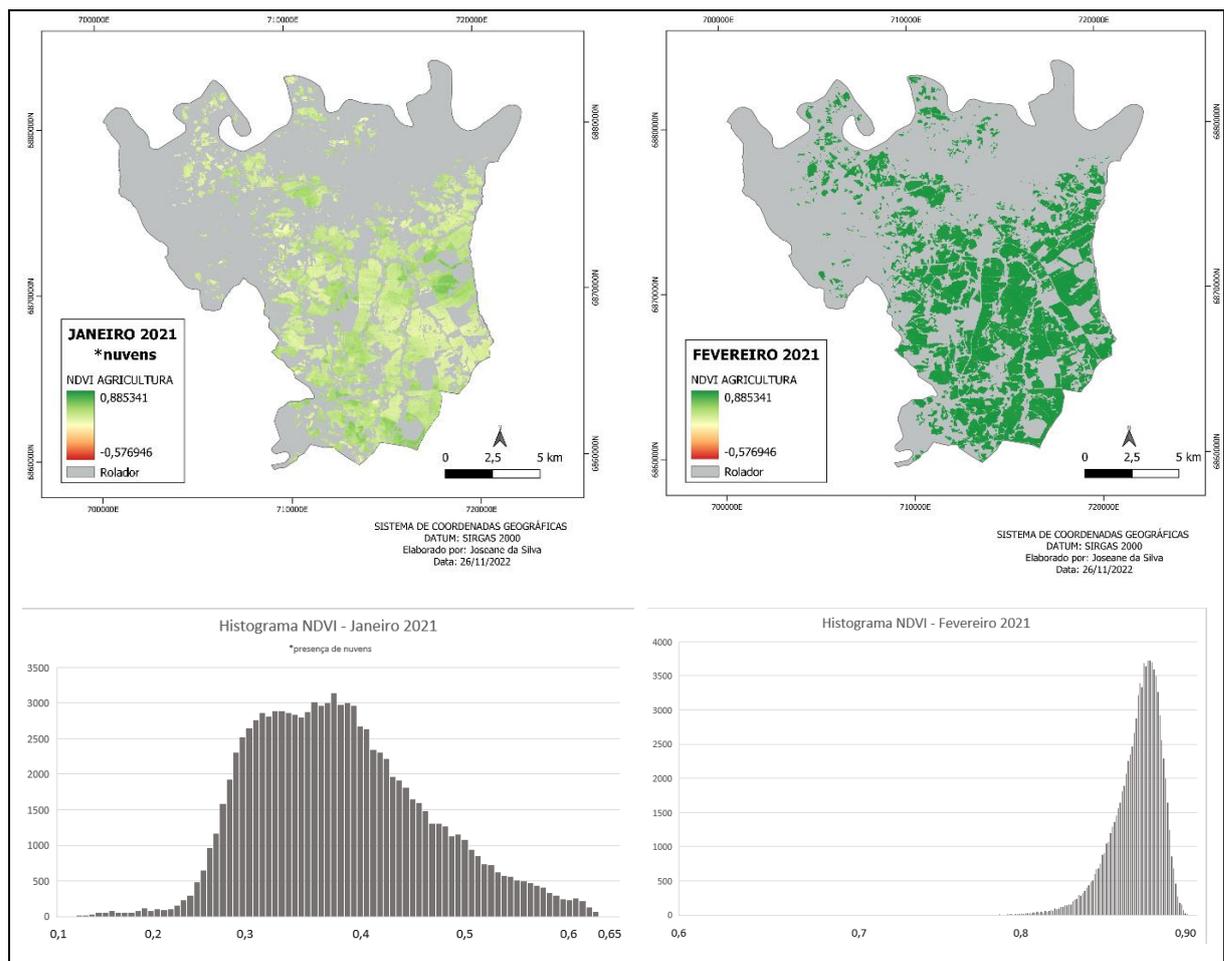
O comportamento do NDVI para o mês de janeiro apresenta um aumento da distribuição dos valores agora situados entre 0,1 e 0,6, com achatamento da curva de frequência, indicando uma cena que apresenta a expansão da cobertura vegetal com vigor. O mês de fevereiro é representado pelo súbito deslocamento de toda a curva de distribuição, apresentando uma alta frequência de pixels com valores de 0,9, representando o adensamento do plantio com alto vigor vegetativo. Os mapas com os resultados do NDVI e o histograma de distribuição e frequência dos pixels na área de estudo, para os meses de janeiro e fevereiro de 2021 são apresentados na Figura 12. Para o primeiro mês da 2021, Emater/RS-Ascar (2021a) descreve a evolução do plantio na região com lavouras em bom desenvolvimento entrando em estado reprodutivo, período crítico para definição do potencial produtivo da cultura e que

demanda volume e regularidade nas precipitações. Fevereiro de 2021 a condição climática seguiu favorável, com lavouras em bom aspecto e boa população de plantas, onde grande parte já apresentavam preenchimento dos espaços vazios de cobertura de solo e estavam em floração.

Cordeiro (2014) analisando a variação do NDVI sobre a cobertura vegetal do Rio Grande do Sul, indica para um aumento generalizado do índice nos meses de janeiro, fevereiro e março, devido ao crescimento e desenvolvimento da vegetação campestre, florestal e o desenvolvimento dos cultivos de primavera-verão.

Cechi *et al.* (2021) observaram um incremento exponencial no NDVI de uma cultura de soja irrigada e de sequeiro a partir do aumento significativo da área foliar e da altura das plantas, seguido por um platô durante o período reprodutivo.

Figura 12 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de janeiro e fevereiro de 2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

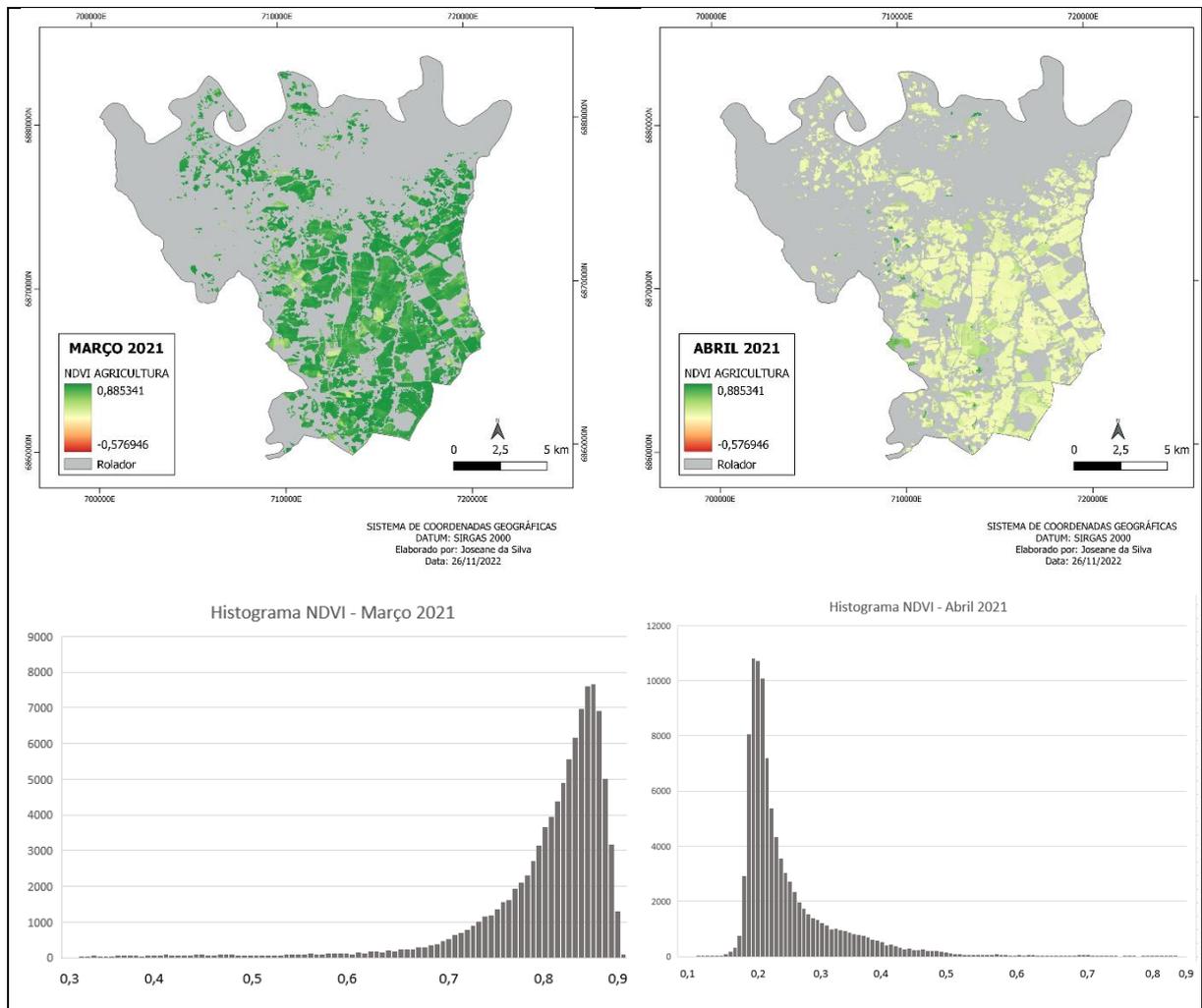
4.2.3 Resultados para março e abril de 2021

Para o mês de março o comportamento do índice de vegetação segue apresentando alta frequência de pixels distribuídos entre 0,8 e 0,9, registrando o aparecimento de índices menores com baixa frequência, indicando a alteração na cobertura do solo para um grupo pequeno de pixels, podendo estar associado ao início da fase de maturação do cultivo. O mês de abril é registrado novamente com uma súbita alteração do índice, com deslocamento da curva concentrando uma alta frequência para pixels com valores entre 0,2 e 0,4, novamente com características de cobertura com solo exposto, podendo estar associado ao final da fase de colheita. Os mapas com os resultados do NDVI e o histograma de distribuição e frequência dos pixels na área de estudo, para os meses finais de análise desta safra são apresentados na Figura 13.

Para o mês de março de 2021, Emater/RS-Ascar (2021a) descreve lavouras apresentando aspecto e porte dentro do esperado e com vagens entram em fase da maturação e início da colheita. Registro de discreta variação de produtividade no início da colheita influenciado pela aceleração da maturação de cultivos semeados em dezembro, que responderam a redução da ocorrência de chuvas no período de florescimento e enchimento de grãos. Em abril a colheita é intensificada, concluindo a produtividade dentro do planejado e consolidando a safra 2020/2021 com excelentes resultados.

O setor agropecuário foi o grande destaque positivo para os resultados da economia gaúcha no primeiro trimestre de 2021, que após pesadas perdas causadas pela estiagem de 2020, apresentou forte recuperação, com crescimento de 79,4% na quantidade de soja produzida em 2021 (DEE-SPGG, 2021).

Figura 13 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de março e abril de 2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

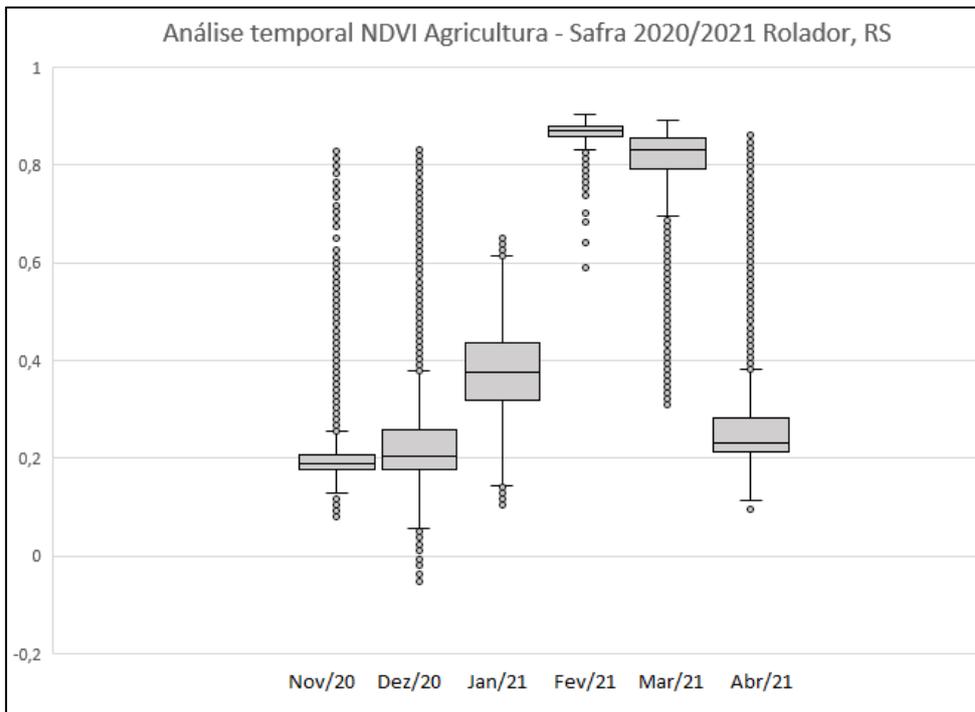
A distribuição temporal dos valores de NDVI para a safra 2020/2021 é apresentado no diagrama de caixas na Figura 14. Para o conjunto amostral que representam o mês de novembro, observou-se valores da mediana do NDVI próximo a 0,2 e valores de mínimo e máximo NDVI apresentando baixa amplitude, indicando que as amostras se distribuem em torno deste valor com baixa variabilidade. As amostras do mês de dezembro seguem o padrão da mediana do mês anterior, registrando um aumento da amplitude, indicando maior variabilidade dos valores de NDVI. As amostras para o mês de janeiro apresentam o deslocamento da mediana para 0,4 com alta variabilidade dos valores da amostra. As amostras de fevereiro apresentam um padrão de homogeneidade amostral, com a mediana em torno de 0,9 e a mais baixa variabilidade registrada, indicando a homogeneidade do recorte

amostral. As amostras do mês de março indicam a redução da mediana com o aumento da amplitude. O mês de abril indica a queda brusca da mediana para 0,25 com um pequeno aumento da amplitude, representando o mês de colheita.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Sarmiente *et al* (2020), que descrevem a variação do NDVI ao longo dos estágios fenológicos do cultivo de soja e relatam a obtenção dos menores valores do índice no início e no final do ciclo de cultivo (0,3), observam um pequeno incremento durante a fase de germinação (0,4), seguido pelo súbito aumento no valor do NDVI com o ganho de biomassa na lavoura (0,67), atingindo o máximo valor com o completo desenvolvimento foliar e entrada no estado reprodutivo (0,89), finalizando o ciclo com a fase de senescência da planta (0,2) e a colheita.

Santos *et al* (2014) apresentam em um perfil temporal, a evolução do NDVI durante as etapas de evolução de cultura de soja, destacando os baixos valores durante as etapas de semeadura e colheita e o pico do índice durante o máximo desenvolvimento vegetativo do cultivo.

Figura 14 - Diagramas de caixas (boxplot) da distribuição de valores de NDVI para os polígonos de agricultura – Safra 2020/2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 SAFRA 2021/2022: SÉRIE TEMPORAL DO NDVI PARA O PERÍODO DE ESTIAGEM

4.3.1 Resultados para novembro e dezembro de 2021

Novembro de 2021 apresenta predominância de índices na faixa entre 0,1 e 0,4, com alta frequência de pixels neste intervalo e características para regiões homogêneas de solo exposto. Observa-se nesta análise, uma baixa frequência de pixels contendo valores entre 0,4 a 0,9, representando pequenas regiões de alto vigor vegetativo, coincidindo com geometria característica de lavouras com irrigação artificial. A distribuição do NDVI e o respectivo histograma obtido para os primeiros meses de análise desta safra são apresentados na Figura 15.

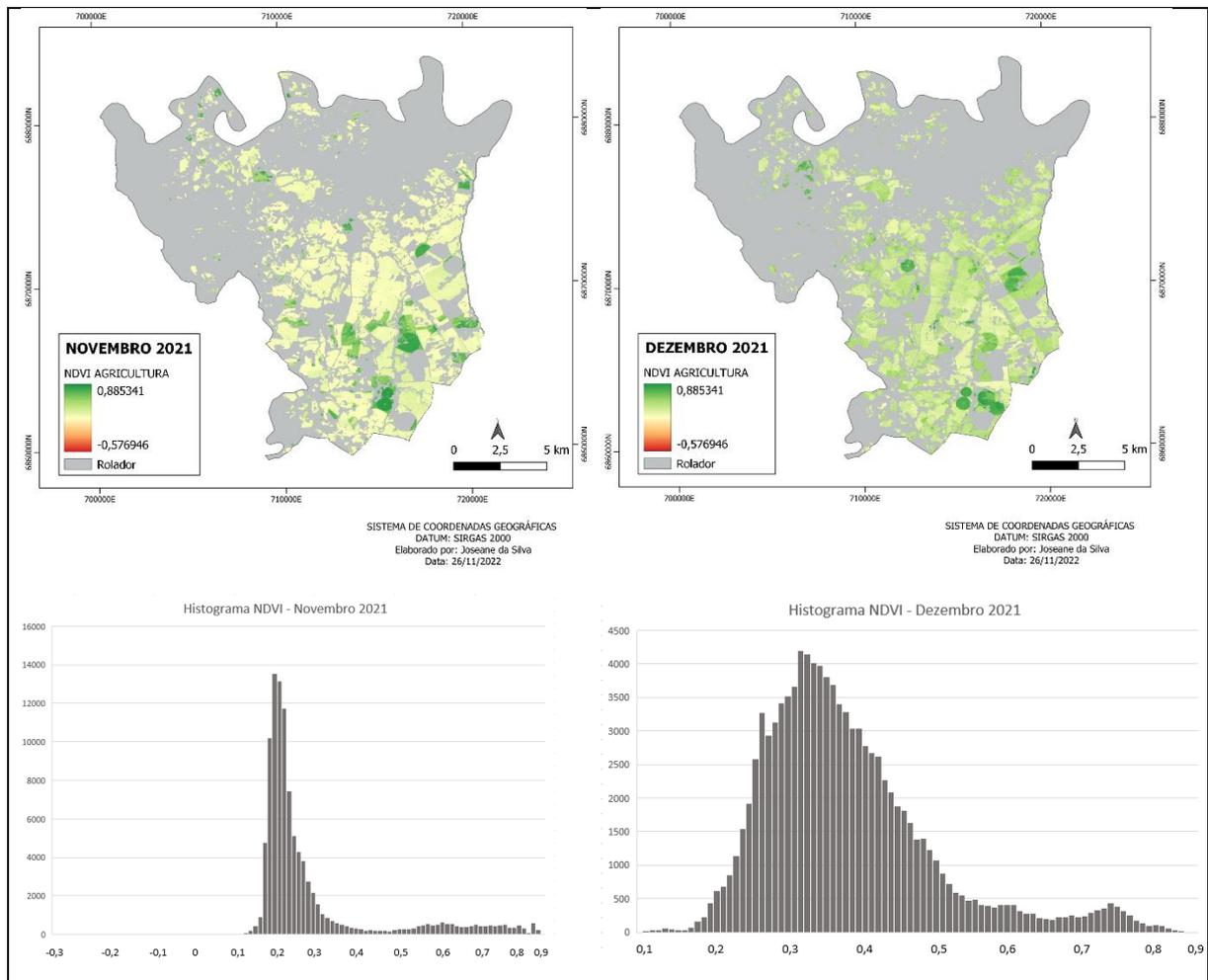
O aumento da dispersão dos valores de NDVI para dezembro/2021 entre 0,2 e 0,6 e até 0,9 com menor frequência indicam o afloramento da cultura, dispersa em toda a área de estudo. Baixos índices de NDVI, na faixa de 0,2 passam a ser pouco representativos, indicando uma redução considerável de coberturas com solo exposto. Alterações no NDVI nos polígonos circulares, indicam uma alteração fenológica presente nesta região diversa do restante do conjunto amostral.

Para o mês de novembro de 2021, informações referentes ao calendário fenológico agrícola para esta região, fornecido por Emater/RS-Ascar (2021b), indicaram um período de semeadura em andamento para o cultivo de soja, retardado pela baixa umidade do solo. Dezembro de 2021 foi caracterizado pela manutenção do tempo seco, redução da umidade do solo, a conclusão do plantio, emergência razoável e de menor tamanho para os cultivos já implantados.

De acordo com Martins *et al* (2021), impulsionado pelas sucessivas estiagens, áreas irrigadas por pivô central aumentaram significativamente na última década no RS, tendo a região noroeste destaque no incremento das áreas com cultivo irrigado. Prognósticos de estiagem fazem com que diferentes estratégias de manejo e o uso de irrigação complementar sejam requeridas, a fim de contornar ou evitar os riscos inerentes à atividade produtiva.

Os mapas de distribuição do NDVI para toda esta série temporal são caracterizados pelo registro de feições, circulares ou não, que não acompanham a distribuição normal, sendo caracterizados como dados discrepantes, sugerindo a utilização de sistemas de irrigação como estratégia para minimizar as perdas.

Figura 15 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de novembro e dezembro de 2021.



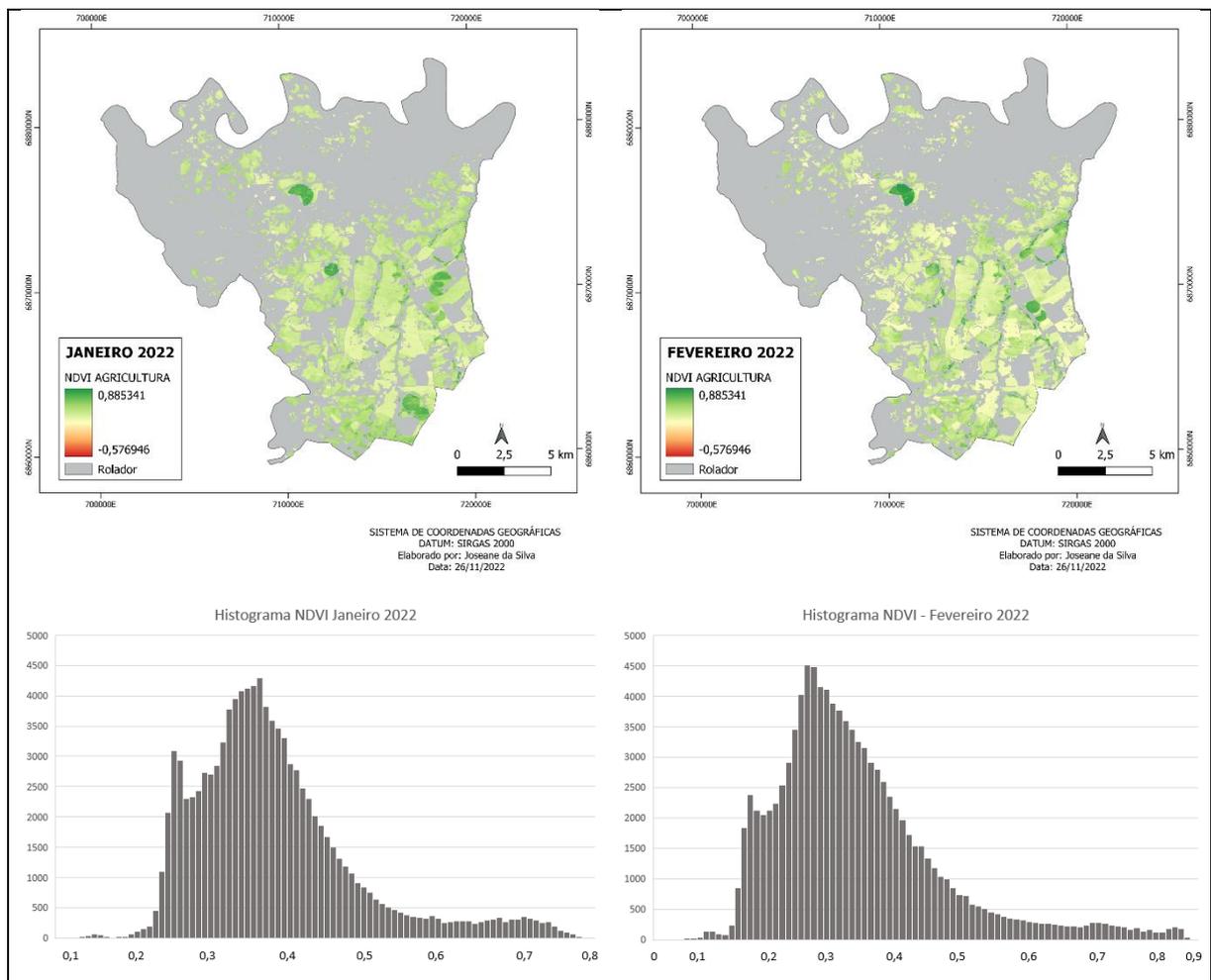
Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.2 Resultados para janeiro e fevereiro de 2022

O comportamento dos pixels registrados em janeiro e fevereiro mantiveram uma estabilidade, quando comparado com o mês anterior, apresentando uma distribuição heterogênea distribuída entre toda a faixa positiva do índice, mas com maior frequência para valores entre 0,2 e 0,4. Estes valores sugerem uma estagnação da atividade fotossintética da cobertura do solo, que em períodos de normalidade climática apresentaria uma tendência aos máximos valores do índice. Os mapas com os resultados do NDVI e o histograma de distribuição e frequência dos pixels na área de estudo, para os meses de janeiro e fevereiro de 2022 são apresentados na Figura 16.

De acordo com Emater/RS-Ascar (2022c), janeiro de 2022 segue a predominância de tempo seco, com lavouras apresentando enrolamento de folhas, plantas com baixo porte e sintoma de murcha, causando a aceleração das etapas de desenvolvimento das plantas e distribuição heterogênea na lavoura, acumulando perdas e consolidando o cenário de estiagem. Fevereiro de 2022 mantém as condições do mês anterior, com lavouras apresentando maturação forçada pelas altas temperaturas e tempo seco, baixíssima produtividade e grãos de péssima qualidade. Rendimentos favoráveis em lavouras com irrigação mecanizada, mas estas apresentam dificuldades pela baixa disponibilidade de água dos reservatórios.

Figura 16 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de janeiro e fevereiro de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

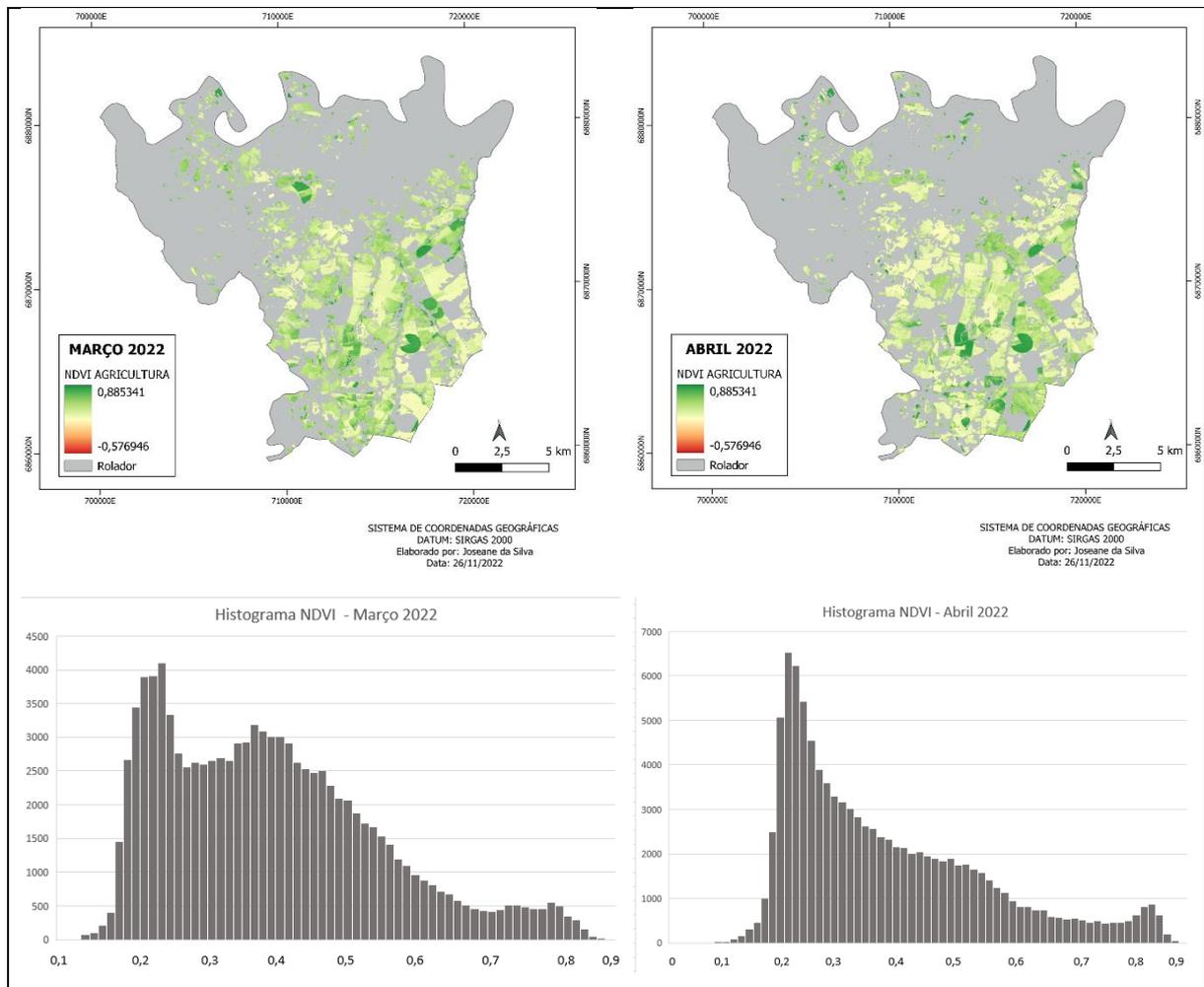
4.3.3 Resultados para março e abril de 2022

A distribuição dos valores de NDVI para o mês de março, apresentam uma distribuição heterogênea ainda maior, quando comparada ao mês anterior, mantendo a alta frequência para índices entre 0,2 e 0,5 e muito baixa frequência para índices de alto vigor vegetativo, ainda concentrados nas regiões de geometria circulares. Em abril os pixels com maior frequência se distribuem entre 0,2 e 0,3, seguidos por uma frequência considerável de pixels com índice entre 0,4 e 0,6 e uma frequência reduzida distribuída entre 0,7 e 0,9. A Figura 17 apresenta os mapas e gráficos com esta distribuição.

Para o mês de março de 2022, Emater/RS-Ascar (2022c) descreve lavouras de soja heterogêneas, em diferentes fases de cultura, diversas em fase de maturação acelerada, com porte reduzido e baixa emissão de ramificações laterais. Mais perdas são consolidadas e diversas lavouras abortam a colheita por inviabilidade econômica e operacional, destinando estas ao pastejo ou produção de feno de soja. Para o mês de abril, a estiagem começa a ser amenizada com o retorno das chuvas regulares, a colheita avança e segue presente a desuniformidade na maturação dos cultivos, persiste a baixa produtividade com parte do produto colhido apresentando grãos avariados e podres devido a ocorrência da chuva tardia.

Wagner (2013) apresenta a relação direta da precipitação com o Índice de Vegetação, verificando através de séries temporais de imagens NDVI uma tendência negativa relacionada à diminuição da precipitação nos Pampas do Brasil e Uruguai.

Figura 17 - Mapas de distribuição do NDVI e respectivos histogramas de distribuição e frequência dos pixels, para os meses de março e abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Uma análise da distribuição temporal dos valores de NDVI para a safra 2021/2022, apresentado em um diagrama de caixas na Figura 18, demonstra as alterações significativas para este conjunto de resultados, quando comparado com a safra 2020/2021.

Ao analisar o mês de novembro, observa-se características de normalidade, com o índice do primeiro quartil em 0,19, mediana em 0,21 e terceiro quartil em 0,26, comportamento similar ao mês de novembro da safra anterior. O mês de dezembro apresenta um deslocamento positivo da mediana, para 0,37, indicando um aumento no desenvolvimento vegetativo da região, comportamento mais acelerado que o ano-safra anterior.

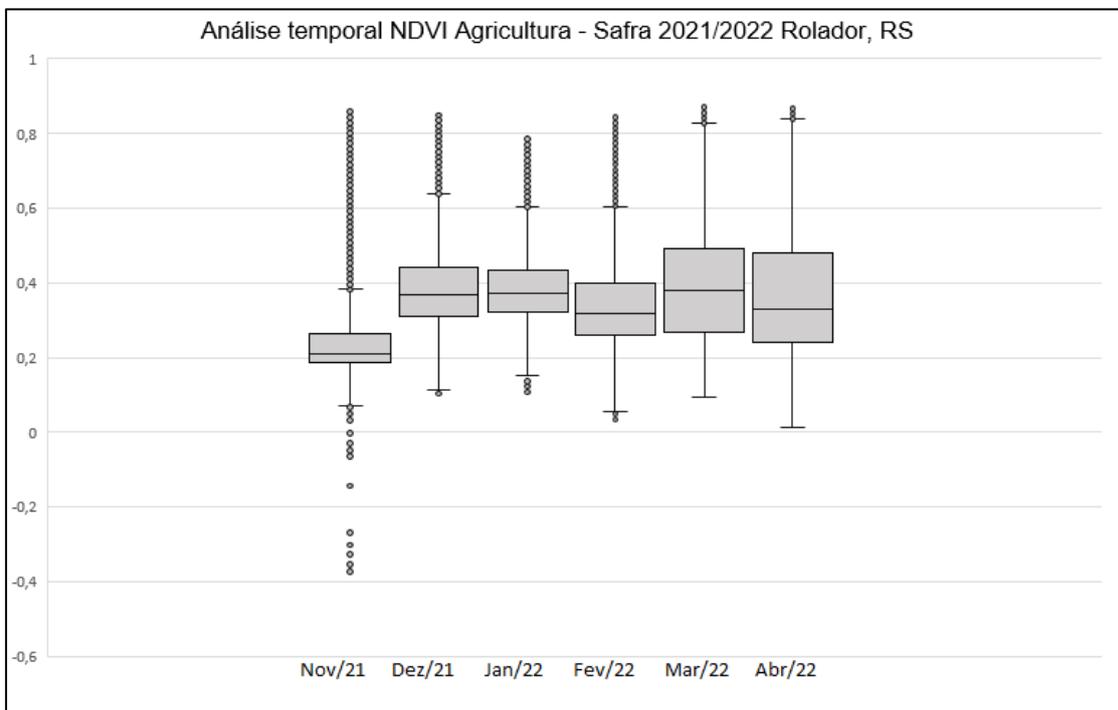
No mês de janeiro o índice demonstrou estabilidade, com a mediana se mantendo em 0,37 e não apresentando alterações expressivas. O mês de fevereiro

apresenta um comportamento inverso a tendência esperada, com redução da mediana para 0,32, indicando uma retração do desenvolvimento vegetativo.

Março a mediana desloca-se positivamente para 0,38, apresentando uma distribuição simétrica e registrando um aumento na dispersão para valores máximos e mínimos, assumindo valores superiores a 0,48 apenas para valores caudais. Abril apresenta uma distribuição mínima e máxima similiar ao mês anterior, com a redução da mediana para 0,33, representando a máxima variabilidade do período e indicando valores dispersos entre 0,01 e 0,84.

Valores correspondentes ao alto vigor vegetativo da cobertura do solo, dentro da curva normal, foram encontrados apenas para valores caudais nos meses de março e abril, indicando um baixo percentual de pixels que atingiram a etapa de máximo vigor, consolidando as perdas da cultura descritas por Emater/RS-Ascar (2022c).

Figura 18 - Diagramas de caixas (boxplot) da distribuição de valores de NDVI para os polígonos de agricultura – Safra 2021/2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise realizada foi possível identificar a relação entre o comportamento espectral da vegetação e a sua alteração fenológica durante eventos de estresse hídrico.

A construção de séries multitemporais de NDVI em períodos de normalidade climática foram importantes para a caracterização da dinâmica do solo, em especial quando a cobertura vegetal é destinada a culturas temporárias, onde o índice apresenta variações periódicas de acordo com o ciclo da cultura.

O monitoramento da variação deste índice, impulsionado pelas variações climáticas ocorridas entre um período de normalidade e um período com ocorrência de estiagem, se apresentou como um indicador sensível na caracterização da condição da cobertura vegetal para culturas temporárias.

Assim, durante todo o período analisado, houve uma correlação significativa com o comportamento espectral da vegetação obtido pelo índice e o desenvolvimento vegetativo da cultura, refletindo com sensibilidade a intensidade das alterações causadas no solo, demonstrando a eficiência deste método na estimativa dos danos registrados durante um período de estiagem.

Analisando os resultados obtidos, pode-se então concluir que a cobertura vegetal do município de Rolador foi negativamente afetada pela estiagem de 2021/2022, apresentando um comportamento semelhante aos obtidos por Cordeiro (2014), Jacobsen (2004) e Rizzi e Fonseca (2001), relacionando comportamentos padronizados em resposta aos efeitos climáticos.

Por fim observa-se de modo geral a contribuição desta pesquisa na medida que o índice, apresentando um comportamento padronizado, registra com clareza as variações causadas na cobertura do solo deste importante recorte amostral, diretamente relacionado com a economia do município.

Este cenário complementa os estudos acerca dos efeitos da estiagem ocorrida durante o verão de 2021/2022 no Rio Grande do Sul, e pode ser utilizado como subsídio para pesquisas futuras em outras regiões agrícolas ou afim de qualificar a intensidade deste evento quando relacionado a outros de mesma magnitude de perdas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Gleyce Kelly Dantas. **Deteminação e mapeamento do início do ciclo para culturas de verão no estado do Paraná por meio de imagens de satélite e dados de precipitação**. 2010. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- BERLATO, M. A.; Fontana, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n° 1, 1999.
- BRAZ, D. F.; Pinto, L. B.; Campos, C. R. Ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul. **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 89 – 99, 2017.
- CAMPO, P. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja**. Brasília: CNI, SENAI, EMBRAPA. 2005.
- CARDOSO, L. S.; Junges, A. H.; Tazzo, I. F.; Varone, F.; Tarouco, A. K.; Oliveira, A. M.; Bremm, C. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuário do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Circular: Divulgação técnica DDPA-RS. 2020.
- CARDOSO, O. R.; Dambrós, M. M.; Xavier, R. A.; Weiss, C. V.; Gauer, N. P. A utilização do SIG no auxílio da análise dos impactos ambientais causadas pelas usinas hidroelétricas Passo São João e São José localizadas no Rio Ijuí-RS. **Scientia Plena**, v. 11, n. 2, 2015.
- CASTRO, A. L. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional. 2003.
- CHECHI, L.; Petry, M. T.; Oliveira, Z. B.; Dantas, M. K.; Silva, C. M.; Gonçalves, A. F. Estimativa do índice de área foliar e da fração de cobertura do solo nas culturas de milho e soja utilizando NDVI. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 3, p. 620 – 637, 2021.
- CONAB. **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil** . Brasília: Observatório Agrícola. 2020.
- CORDEIRO, Ana Paula Asumpção. **Padrões do índice de vegetação associados a variabilidade climática do estado do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado – Curso de Engenharia Agrônômica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.
- DEE-SPGG. **Boletim de conjuntura do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. 2021.
- DEE-SPGG. **Boletim de conjuntura do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. V. 4, n. 4, 2022.

EMATER/RS-ASCAR. **Efeito da estiagem nas principais atividades agrícolas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Gerência de Planejamento – GPL, 2022a.

EMATER/RS-ASCAR. **Estimativas da safra de verão 2021-2022**. Não-Me-Toque: Emater-RS, 2022b. Disponível em: https://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_08032022.pdf. Acesso em 10 nov 2022.

EMATER/RS-ASCAR. **Informativo Conjuntural - Ano 31**. n. 1631 a 1639. Porto Alegre - RS: Gerência de planejamento – RS, 2020. Disponível em https://www.emater.tche.br/site/info-agro/informativo_conjuntural.php . Acesso em 10 nov 2022.

EMATER/RS-ASCAR. **Informativo Conjuntural - Ano 31**. n. 1640 a 1656. Porto Alegre: Gerência de Planejamento – RS, 2021a. Disponível em https://www.emater.tche.br/site/info-agro/informativo_conjuntural.php . Acesso em 10 nov 2022.

EMATER/RS-ASCAR. **Informativo Conjuntural Ano 32**. n. 1683 a 1691. Porto Alegre - RS: Gerência de Planejamento – RS, 2021b. Disponível em https://www.emater.tche.br/site/info-agro/informativo_conjuntural.php . Acesso em 10 nov 2022.

EMATER/RS-ASCAR. **Informativo Conjuntural - Ano 32**. N. 1692 a 1708. Porto Alegre - RS: Gerência de Planejamento – RS, 2022c. Disponível em https://www.emater.tche.br/site/info-agro/informativo_conjuntural.php . Acesso em 10 nov 2022.

FEIX, R. D.; Júnior, S. L.; Borges, B. K.; Pessoa, M. L. **Painel do agronegócio do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2022.

FORMAGGIO, A. R.; Sanches, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

FURTADO, G. D.; Silva, E. D.; Furtado, B. E.; Palmeiras, A. C. As geotecnologias e o agronegócio brasileiro: um estudo de caso na produção de soja. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 10 n.3, p. 88-96, 2020.

GROSS, Joceli Augusto. **Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) dos municípios do Rio Grande do Sul afetados pelas estiagens no período de 1991 a 2012**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

GROSS, J. A.; Reis, J. T.; Sausen, T. M. Caracterização da condição socioeconômicas do Rio Grande do Sul afetados pelas estiagens. **Geografia, ensino e pesquisa**, p. 23, v. 18, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE: **Senso Agropecuário 2017**. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria>. Acesso em 10 nov 2022.

JACOBSEN, L. O.; Fontana, D. C.; Shimabukuro, I. E. Efeitos associados a El Nino e La Nina na vegetação do estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 129 – 140, 2004.

KUINCHTNER, A.; Buriol, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação Koppen e Thornthwaith. **Disciplinarum Scientia**, p. 178-182, 2001.

KUPLICH, T. M.; Moreira, A.; Fontana, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17 n. 10, 2013.

MARTINS, J. D.; Petry, M. T.; Mantovanelli, B. C.; Ferrazza, C. M. Mapeamento da área irrigada por pivô central em nível de bacia hidrográfica no extremo sul do Brasil. **Irriga**, Botucatu, v.1, n. 2 p. 281-296, 2021.

MENESES, P. R.; Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto**. Brasília. CNPQ UNB, 2012. Disponível em: <https://memoria2.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> . Acesso em 10 dez 2022.

MIGUEL, L. D. Entre os campos e as florestas: origem e evolução da agricultura no Rio Grande do Sul. **Seminaire Franco Bresilien: Dialogues Contemporains sur la question agraire et l'agriculture familiale eau Bresil et an France**. Anais - Paris. 2013.

NÓBREGA, Mauro Ricardo Roxo. **Detecção da expansão da soja no bioma a partir de atributo espectral-temporal e classificação orientada a objeto**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RIZZI, R.; Fonseca, E. L. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens de AVHRR. **Anais X SBRR - Foz do Iguaçu**, p. 1735 – 1737, 2001.

ROUSE, J.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plans with ERTS. **NASA - Goddard Space Flight Center. Vol. 1**. 1974.

SANTOS, J. S.; Fontana, D. C.; Silva, T. S.; Rudorff, B. F. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 54-63. 2014.

SARMIENTE, C. M.; Contri, P. P.; Alves, R. D.; Carvalho, L. G. A spectral agrometeorological model for estimating soybean grain productivity in Mato Grosso, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 40, n. 3, p. 405-412. 2020.

SARTORI, A. A., Silva, R. F., Pianucci, M. N., Zimback, C. R. Influência no período de estiagem no índice de vegetação (NDVI), no município de Botucatu, SP. **Anais XIV - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 4363-4396, 2009.

SEAPDR-RS. **Relatório de Estiagem - nº 5** . Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Regional-RS, 2022.

SEPLAN-RS. **Perfil Socioeconômico Coredes Missões**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional - Departamento de Planejamento Governamental, 2015.

SOARES, D. B.; Nóbrega, R. S.; Filho, F. D. Mapeamento do solo exposto suscetível a desertificação em Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/9 p.1669 - 1676. 2017.

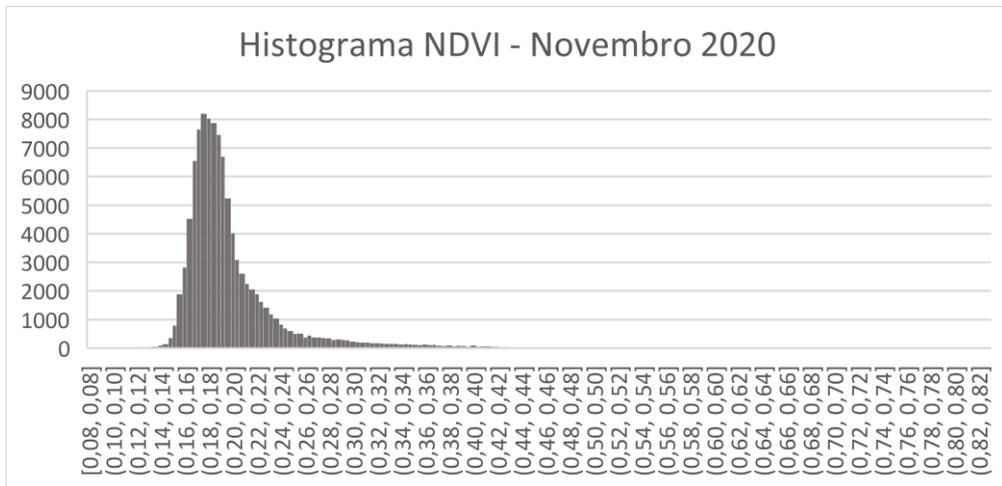
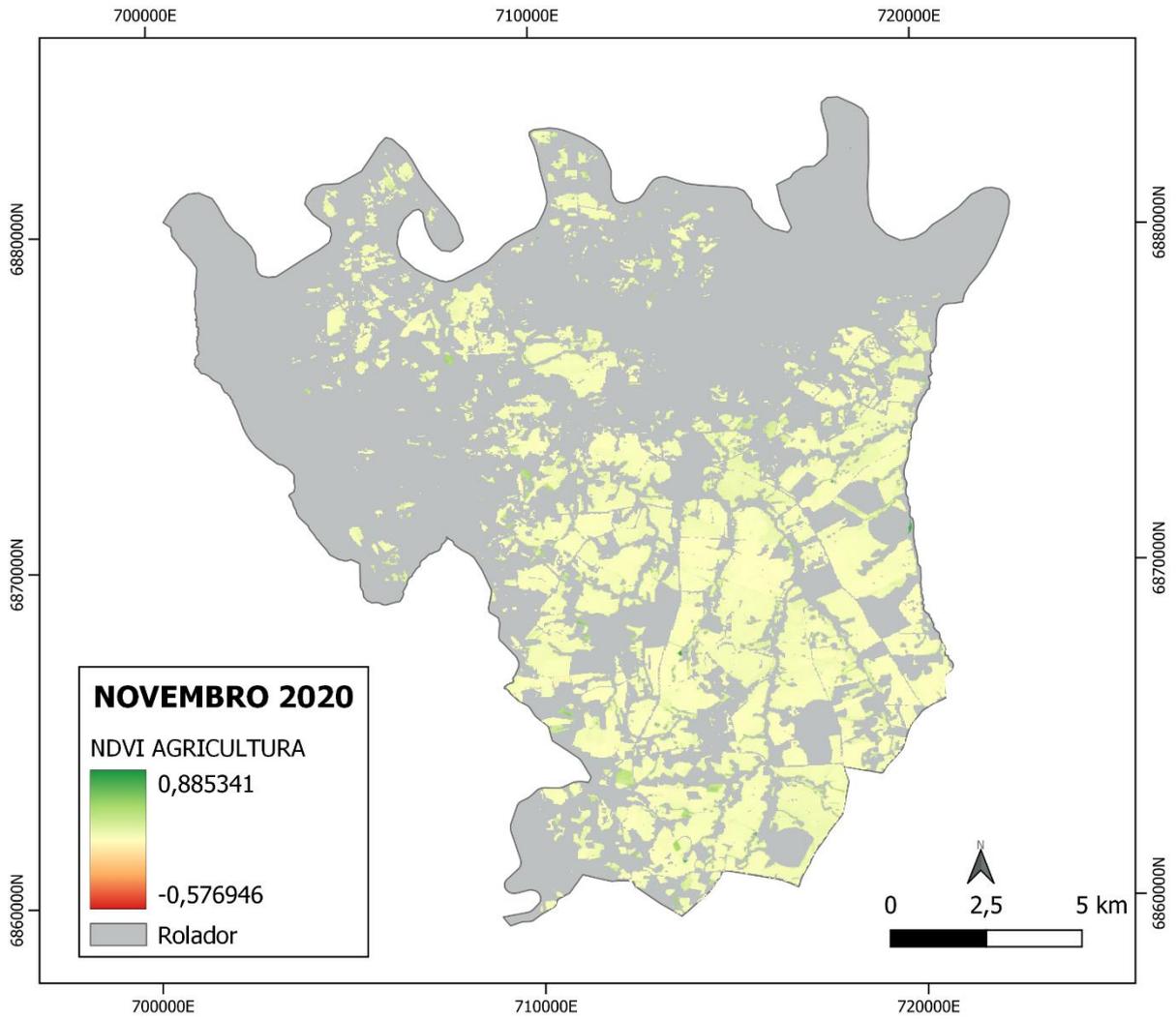
SPGG-RS. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SPGG - Departamento de Planejamento Governamental, 2021. Disponível em: https://issuu.com/spggrs/docs/atlas_socioeconomico_do_rio_grande_do_sul Acesso em nov 2022.

TONIN, J; Wives, D. G.; Neto, B. S.; & Machado, J. T. Dinâmica agrária e reprodução social do agricultores de Rolador, Rio Grande do Sul. **Desenvolvimento em Questão**, v. 20, n. 58, p. 1-14. 2021.

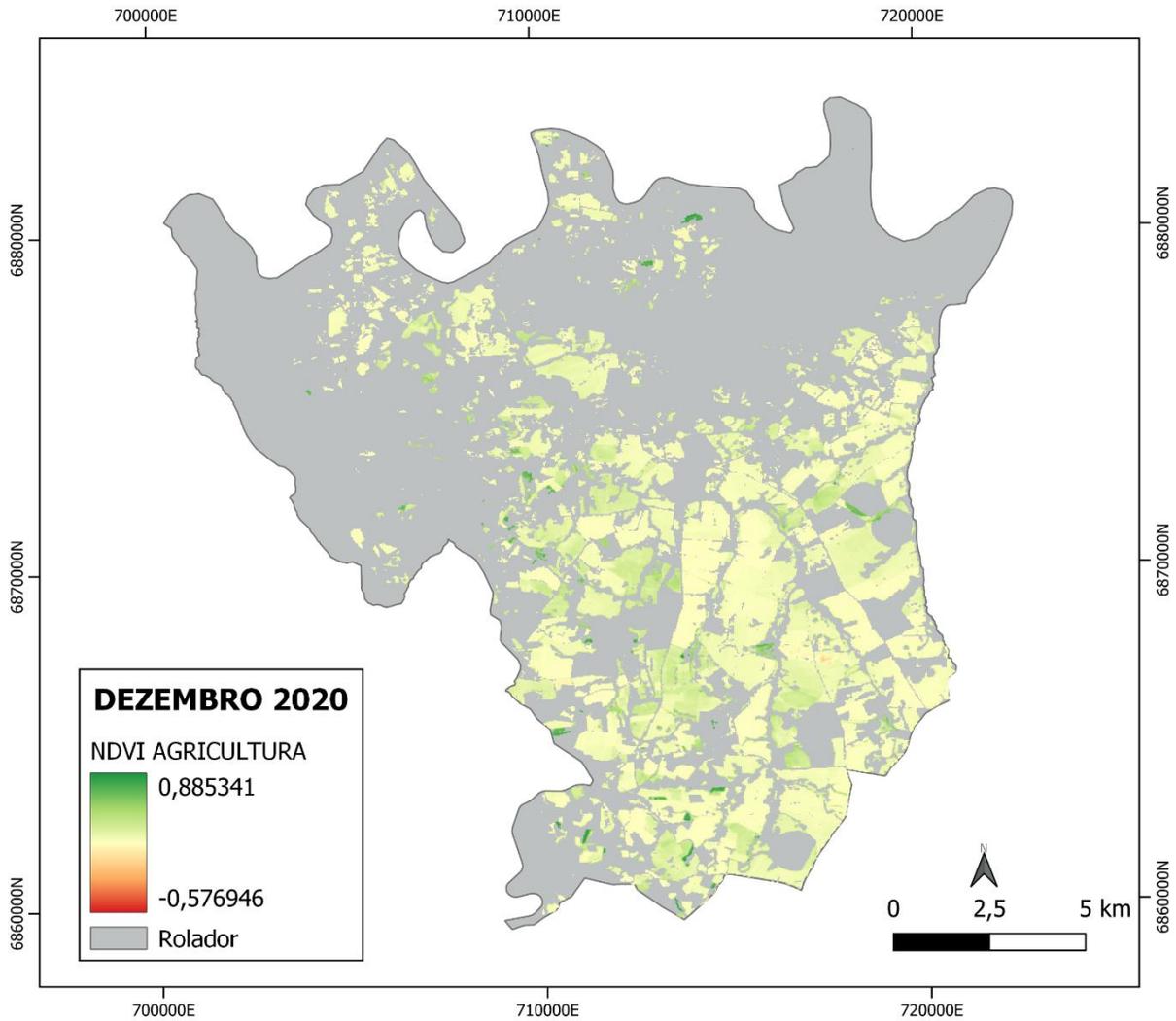
WAGNER, ANA Paula Luz. **Dinâmica temporal de índices de vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas relações com os elementos meteorológicos regionais**. Tese de doutorado. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

WEBER, E.; Hasenack, H.; Ferreira, C.J.S. 2004. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

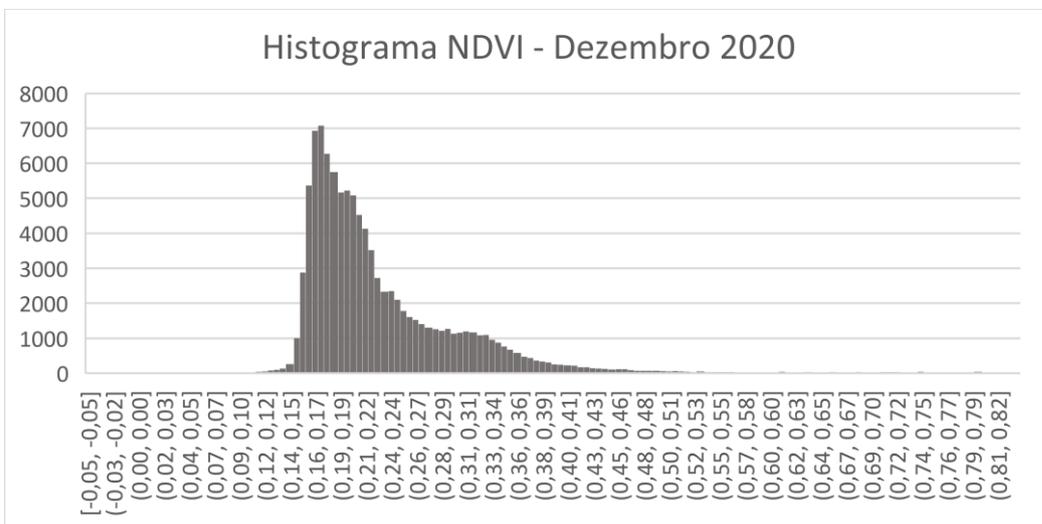
APÊNDICE A – Rolador – NDVI novembro 2020



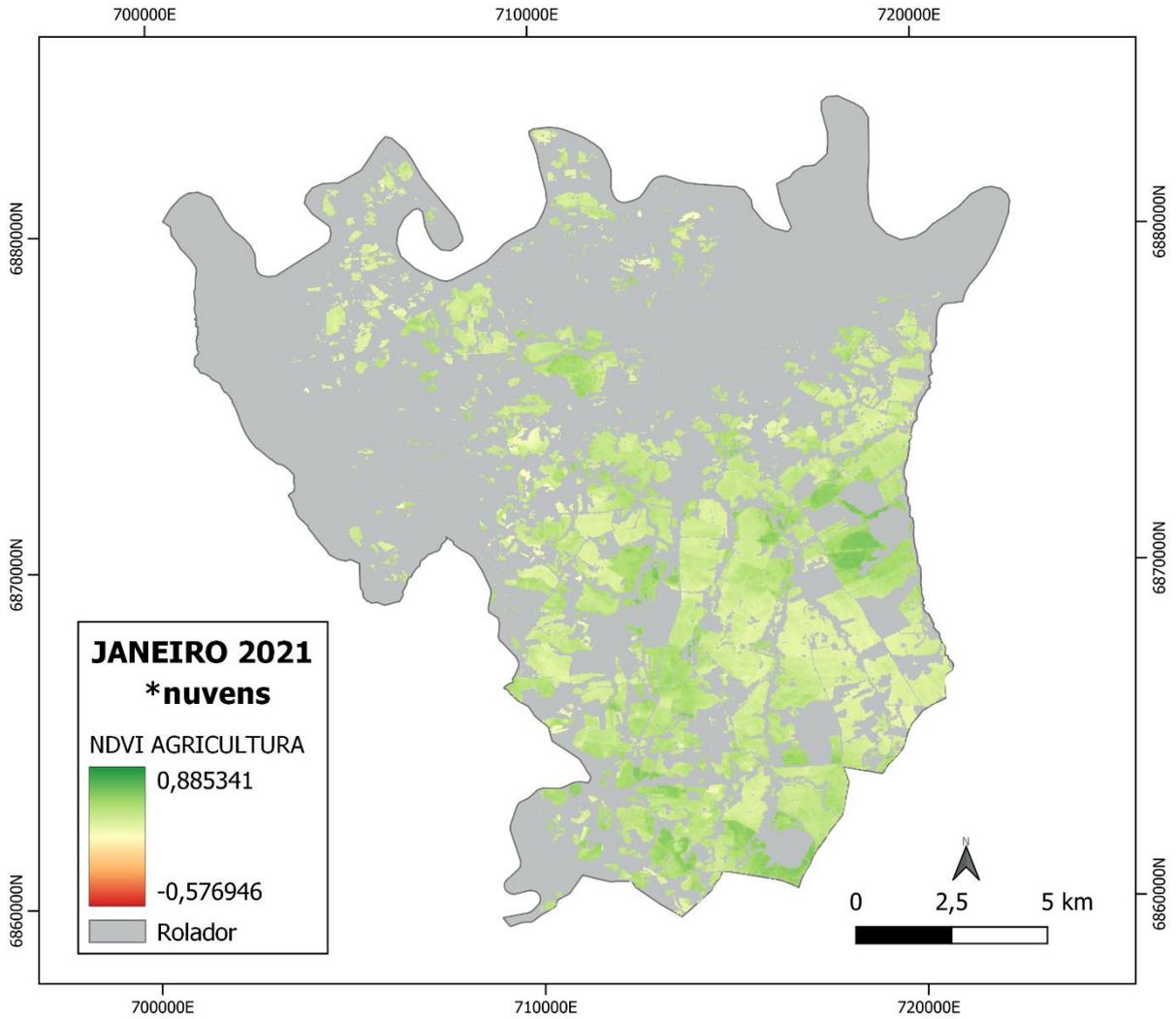
APÊNDICE B – Rolador – NDVI dezembro 2020



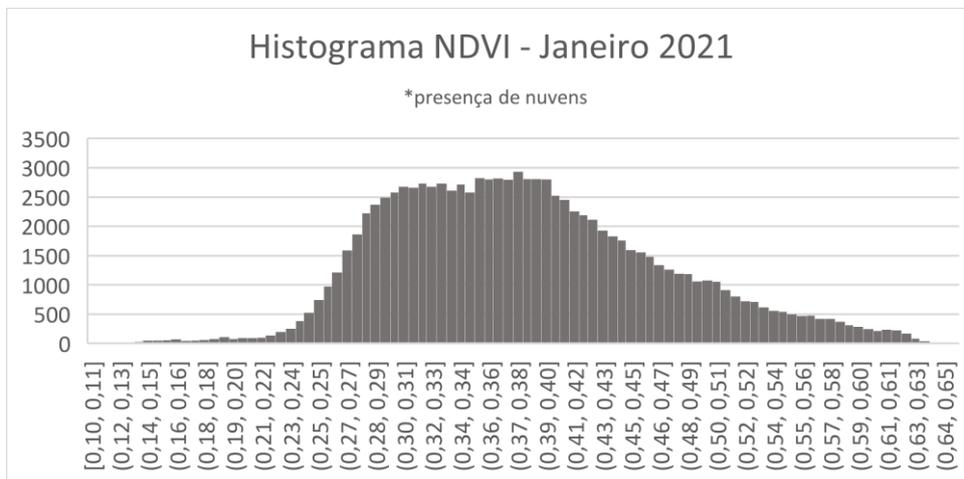
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022



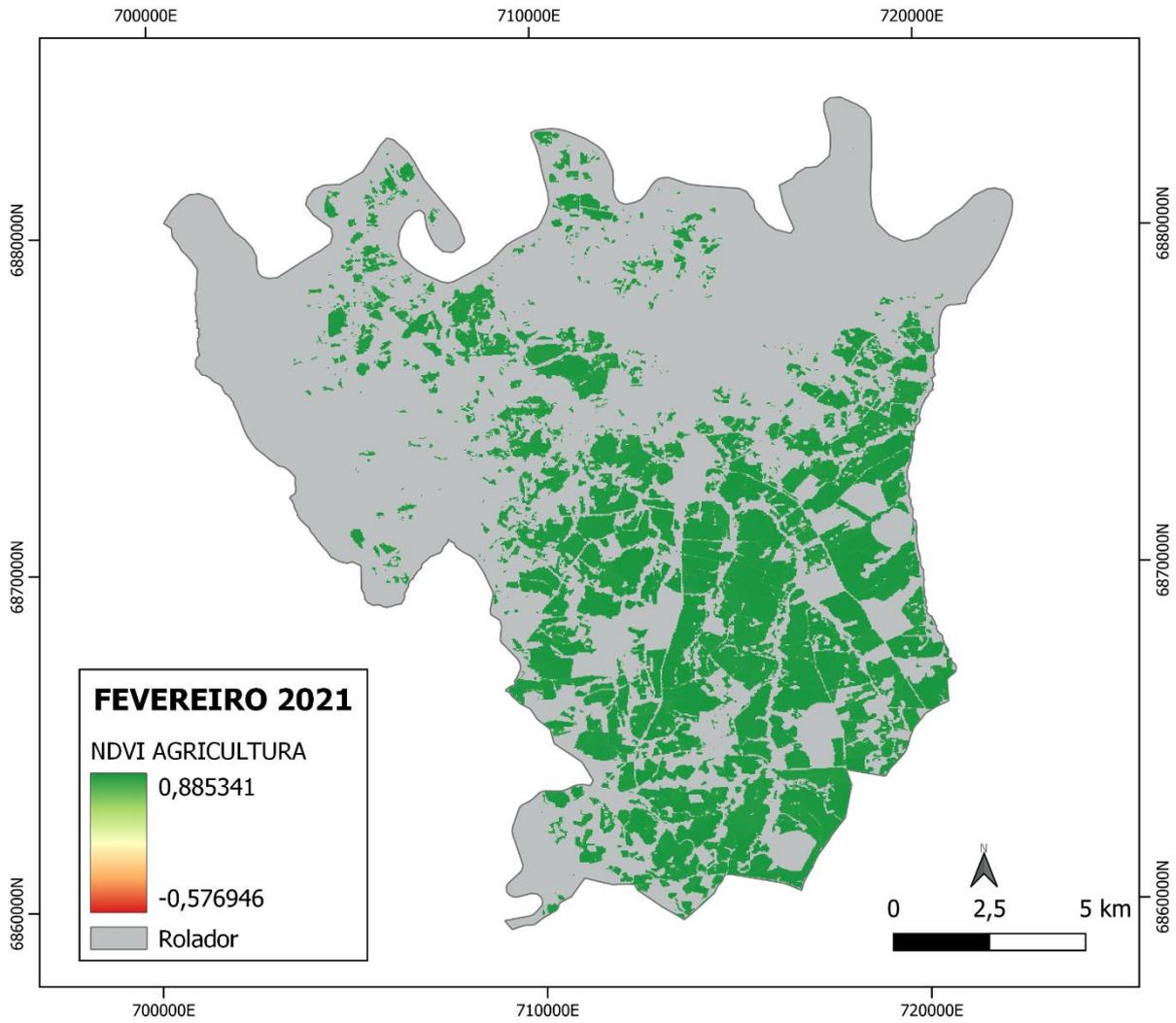
APÊNDICE C – Rolador – NDVI janeiro 2021



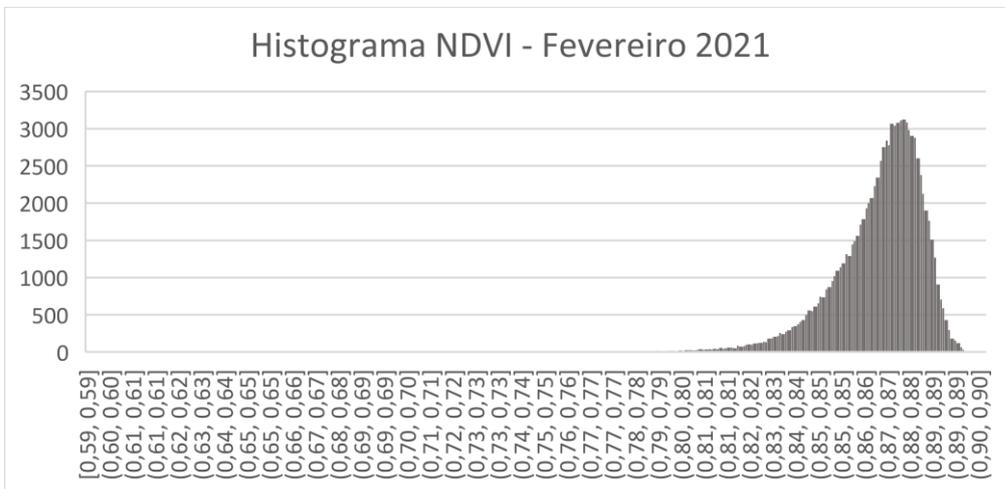
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022



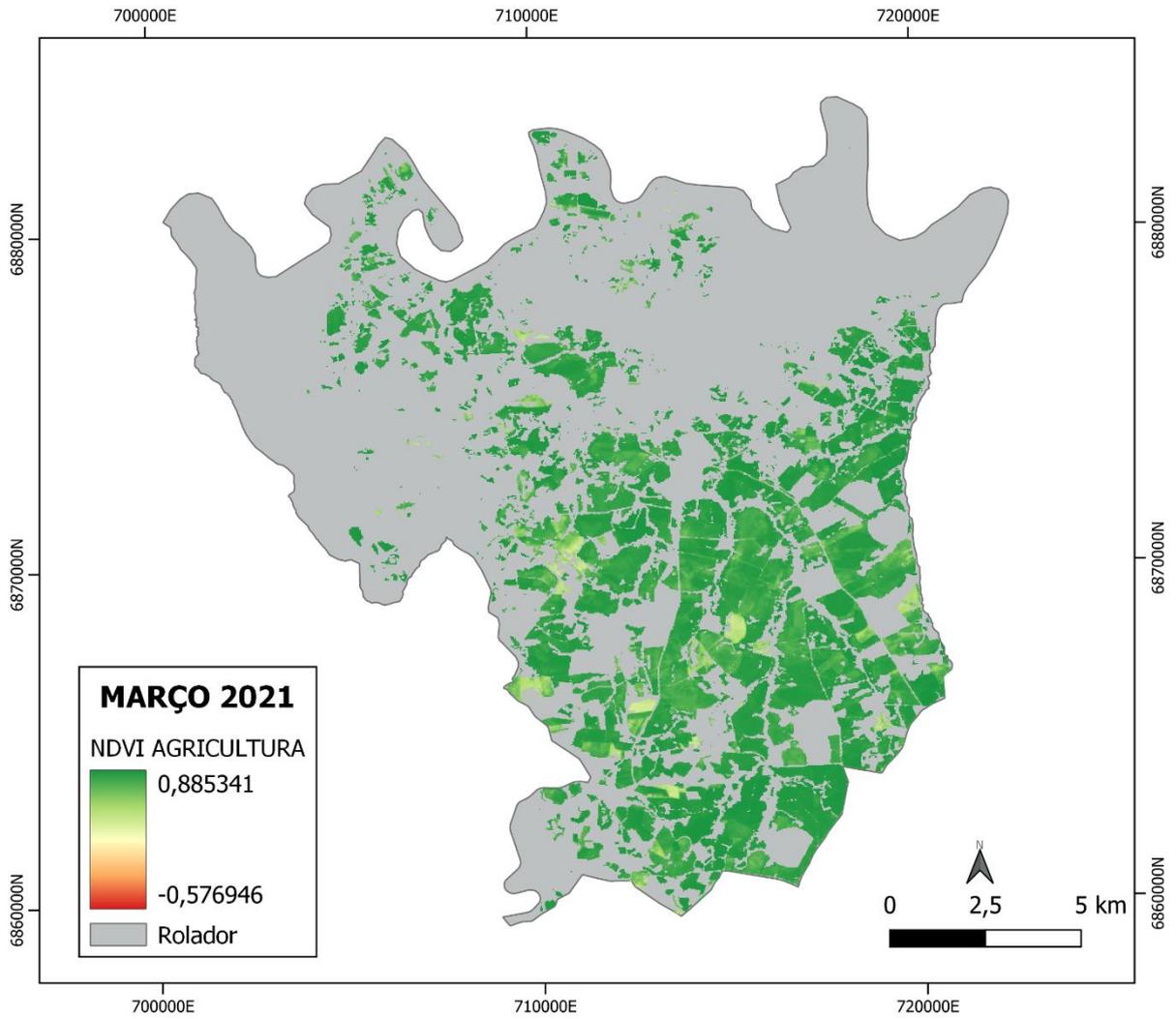
APÊNDICE D – Rolador – NDVI fevereiro 2021



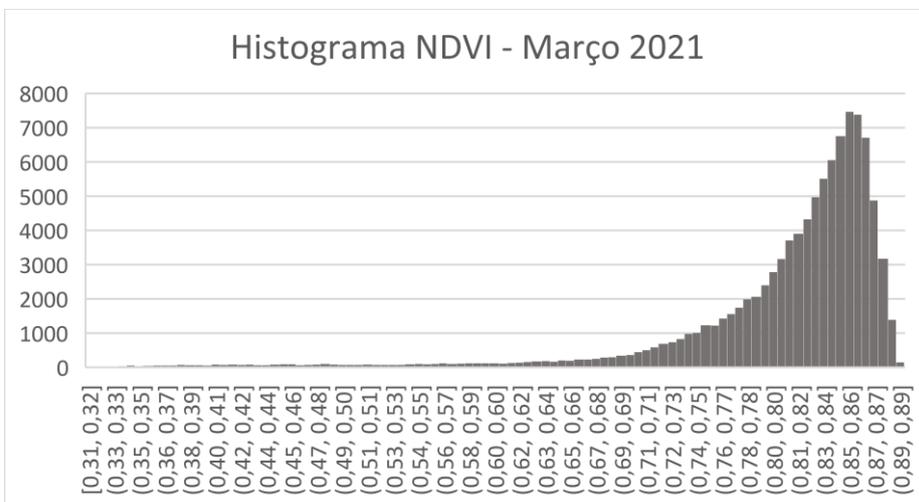
SISTEMA DE COORDENADAS GEGRÁFICAS
DATUM: SIRGAS 2000
Elaborado por: Joseane da Silva
Data: 26/11/2022



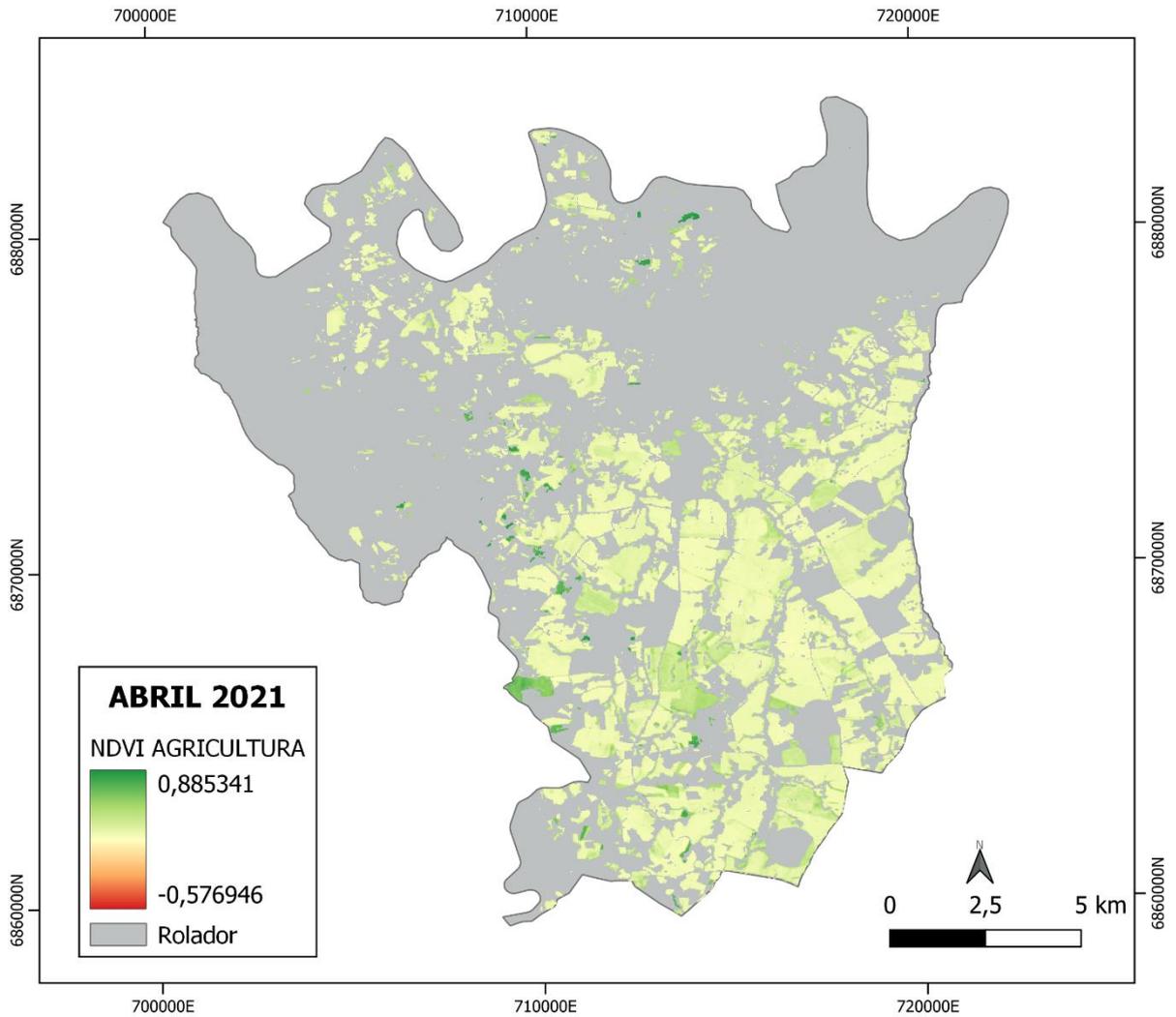
APÊNDICE E – Rolador – NDVI março 2021



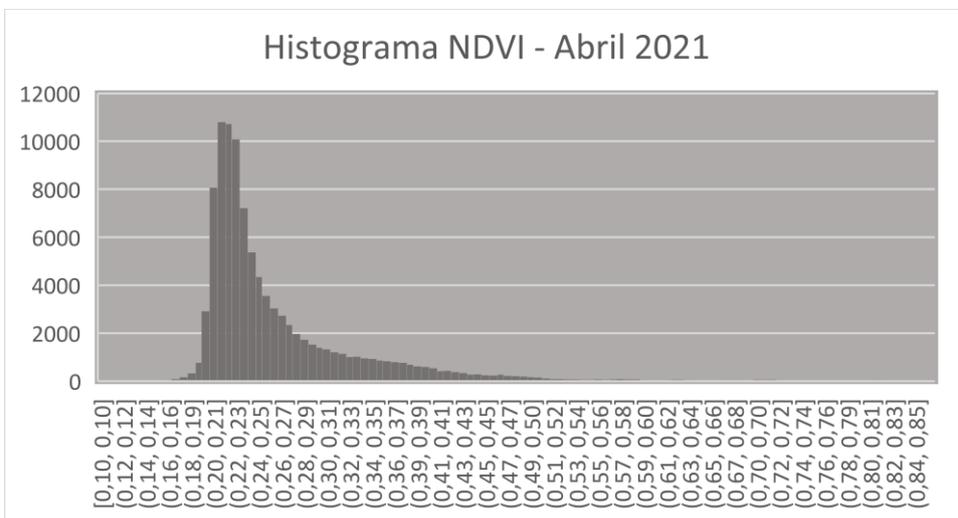
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022



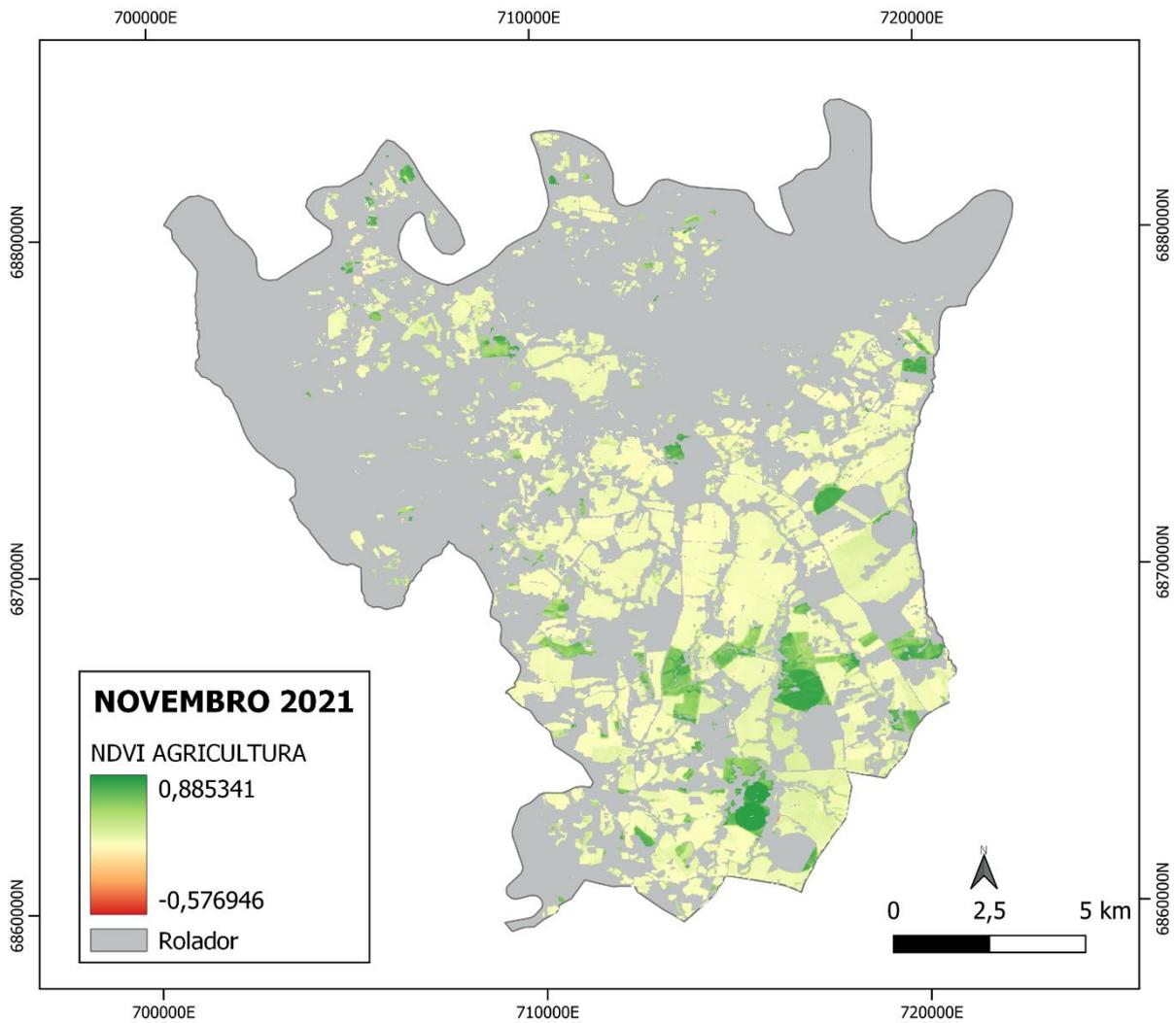
APÊNDICE F – Rolador – NDVI abril 2021



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022

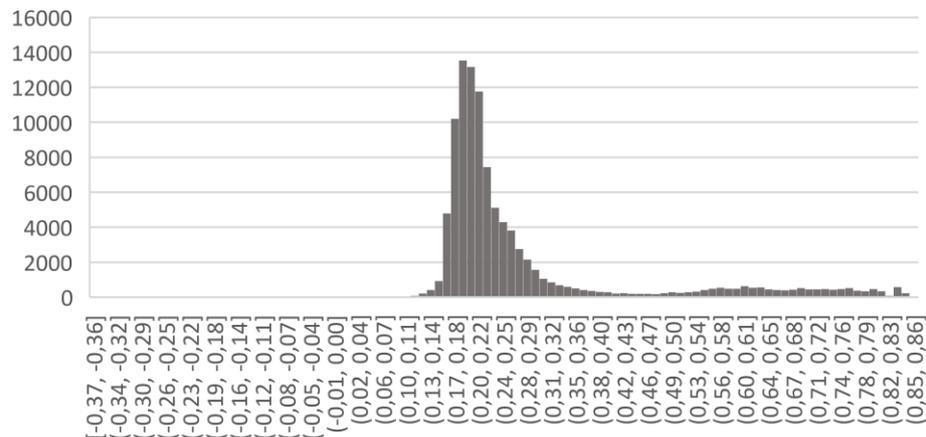


APÊNDICE G – Rolador – NDVI novembro 2021

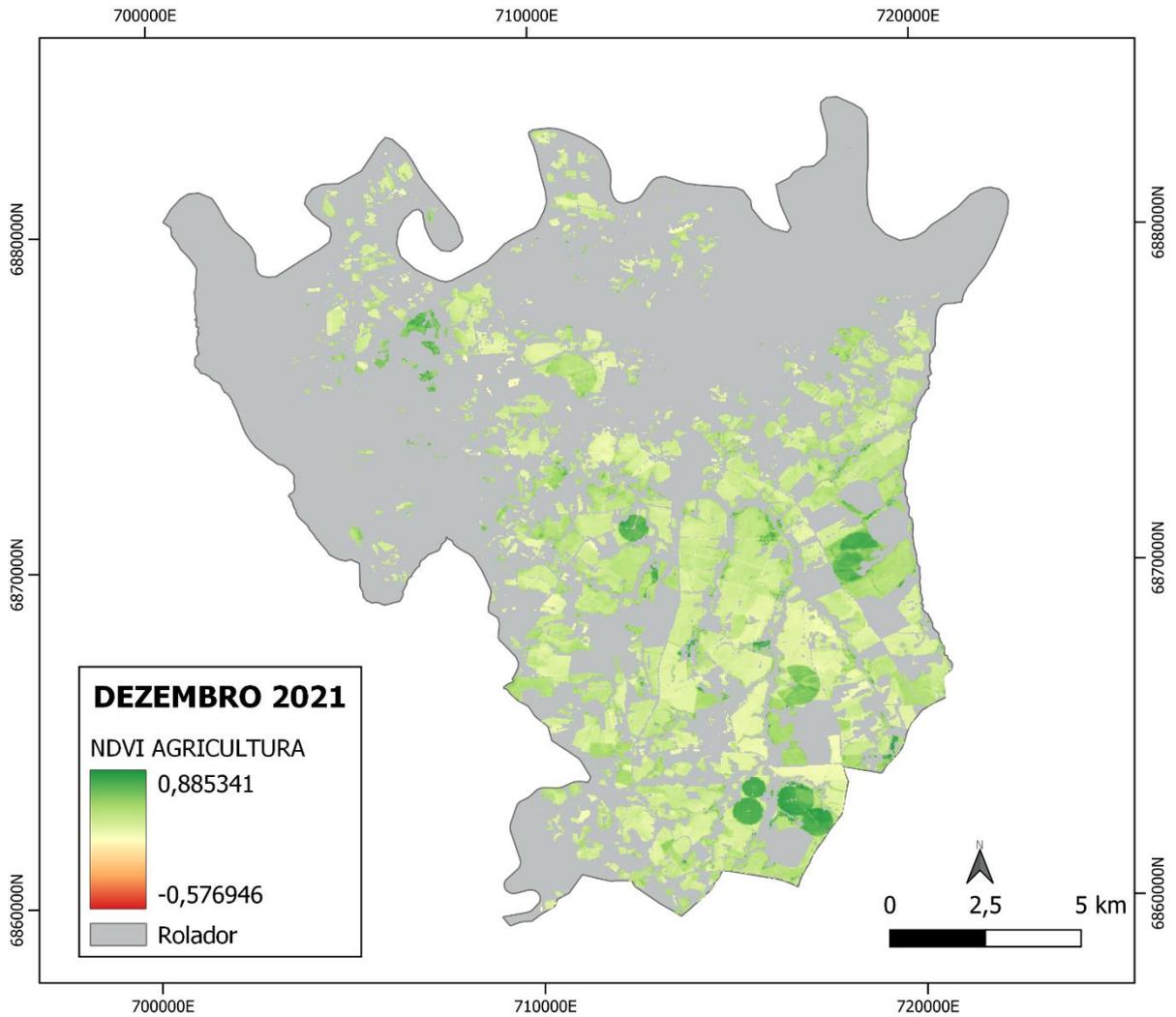


SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022

Histograma NDVI - Novembro 2021

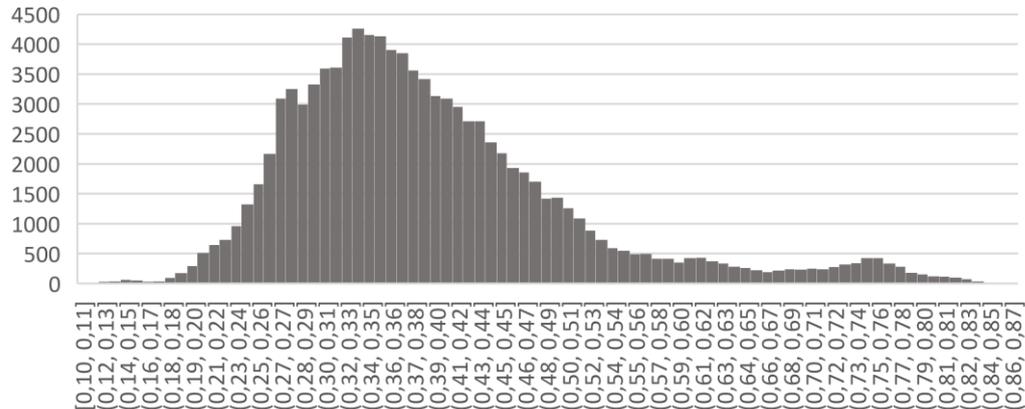


APÊNDICE H – Rolador – NDVI dezembro 2021

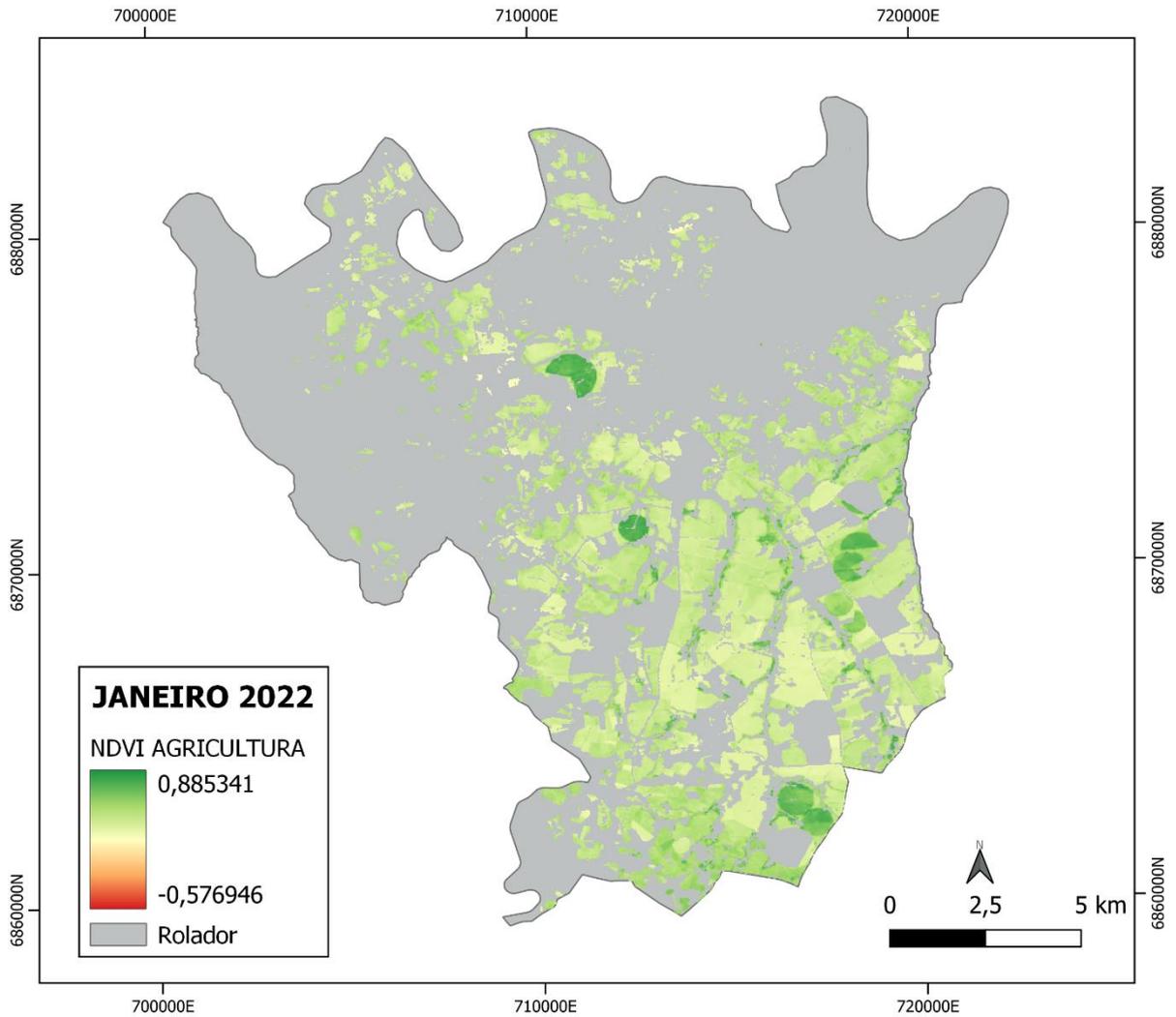


SISTEMA DE COORDENADAS GEGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022

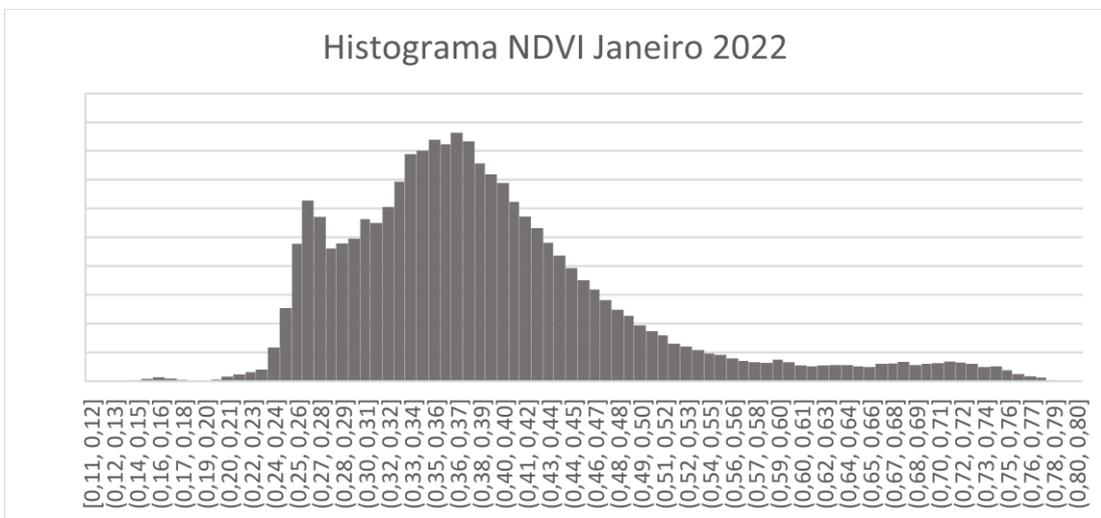
Histograma NDVI - Dezembro 2021



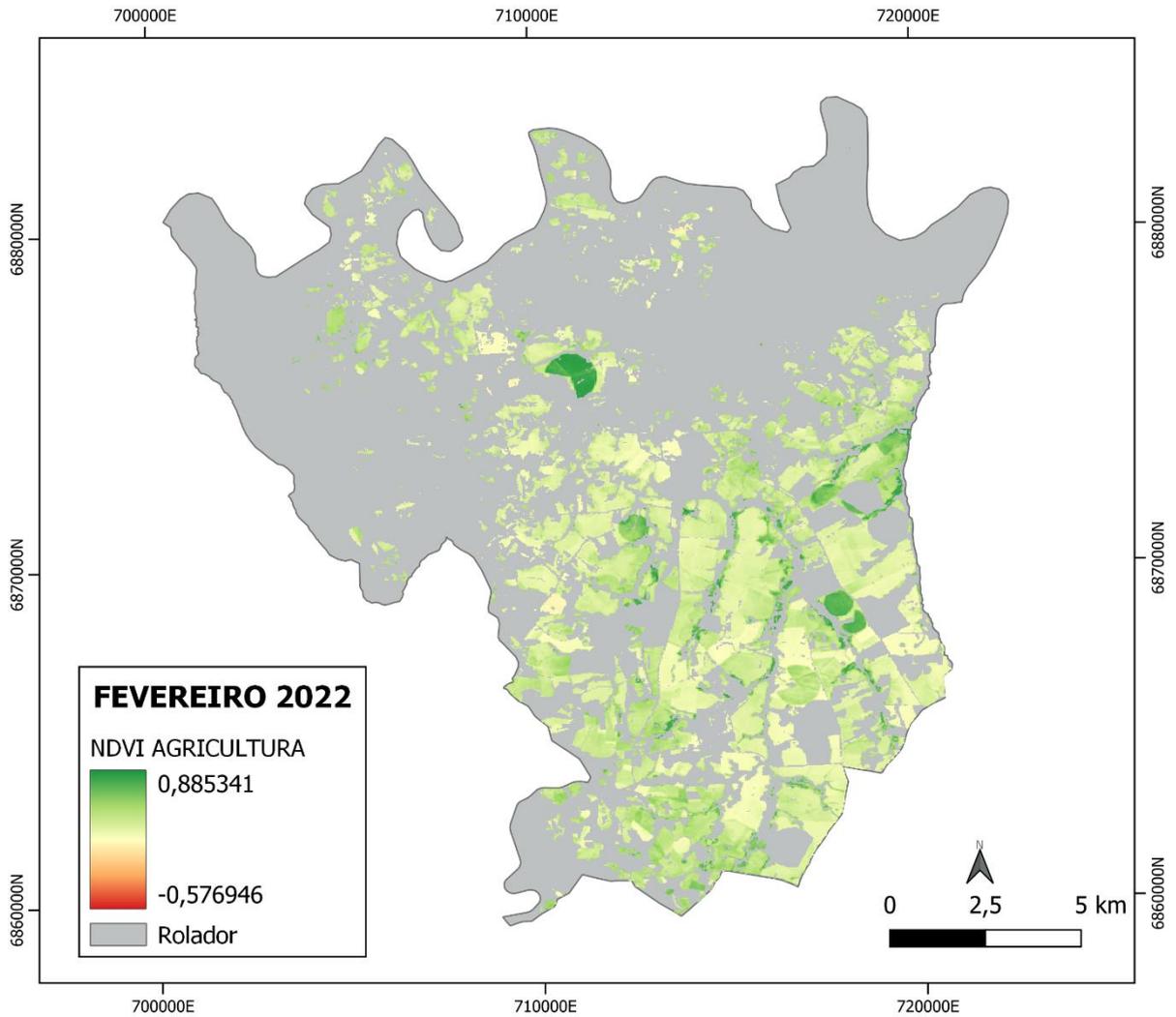
APÊNDICE I – Rolador – NDVI janeiro 2022



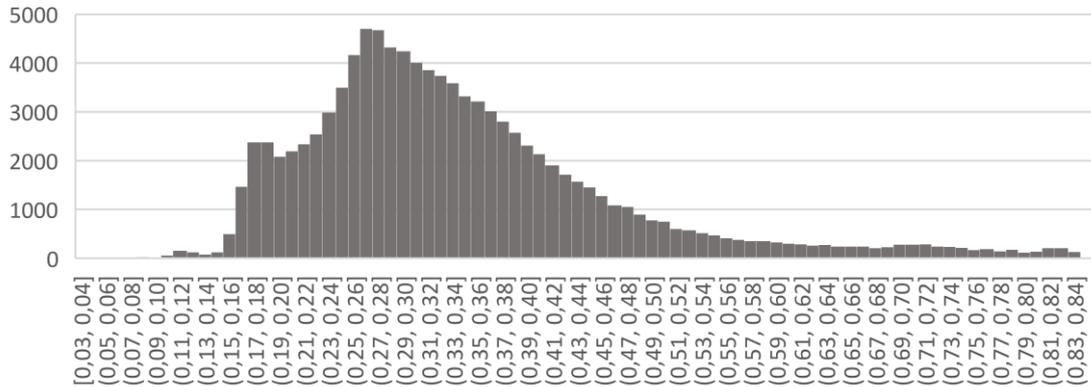
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
DATUM: SIRGAS 2000
Elaborado por: Joseane da Silva
Data: 26/11/2022



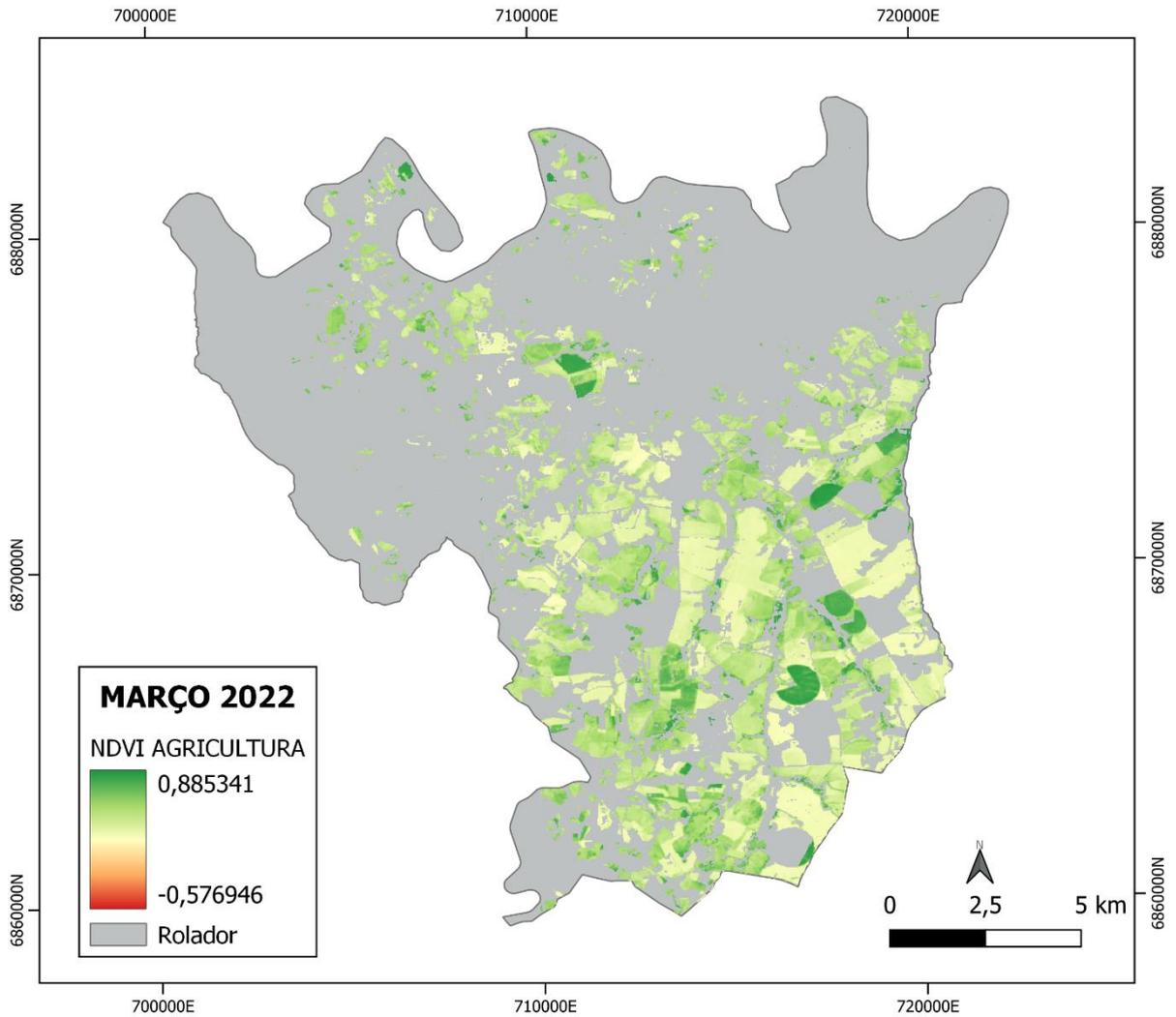
APÊNDICE J – Rolador – NDVI fevereiro 2022



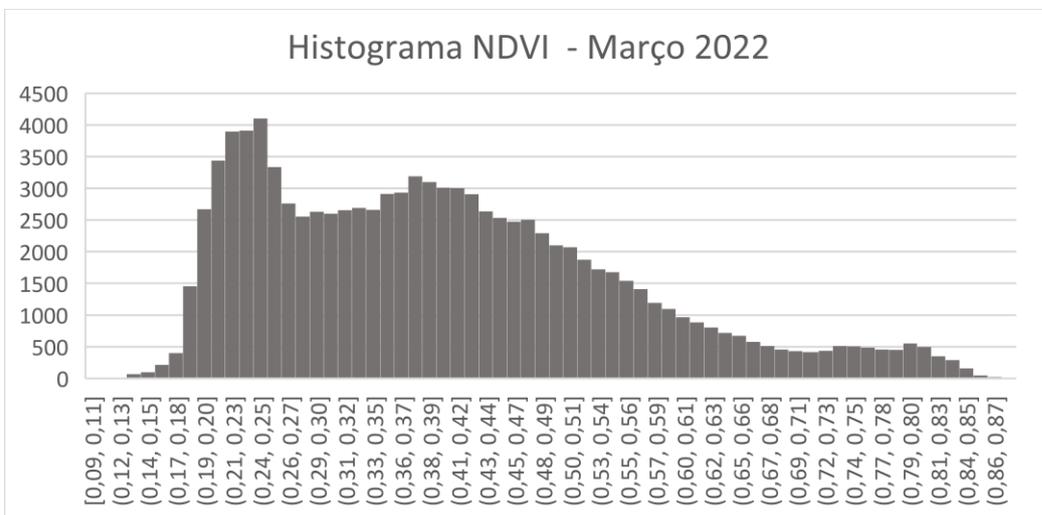
Histograma NDVI - Fevereiro 2022



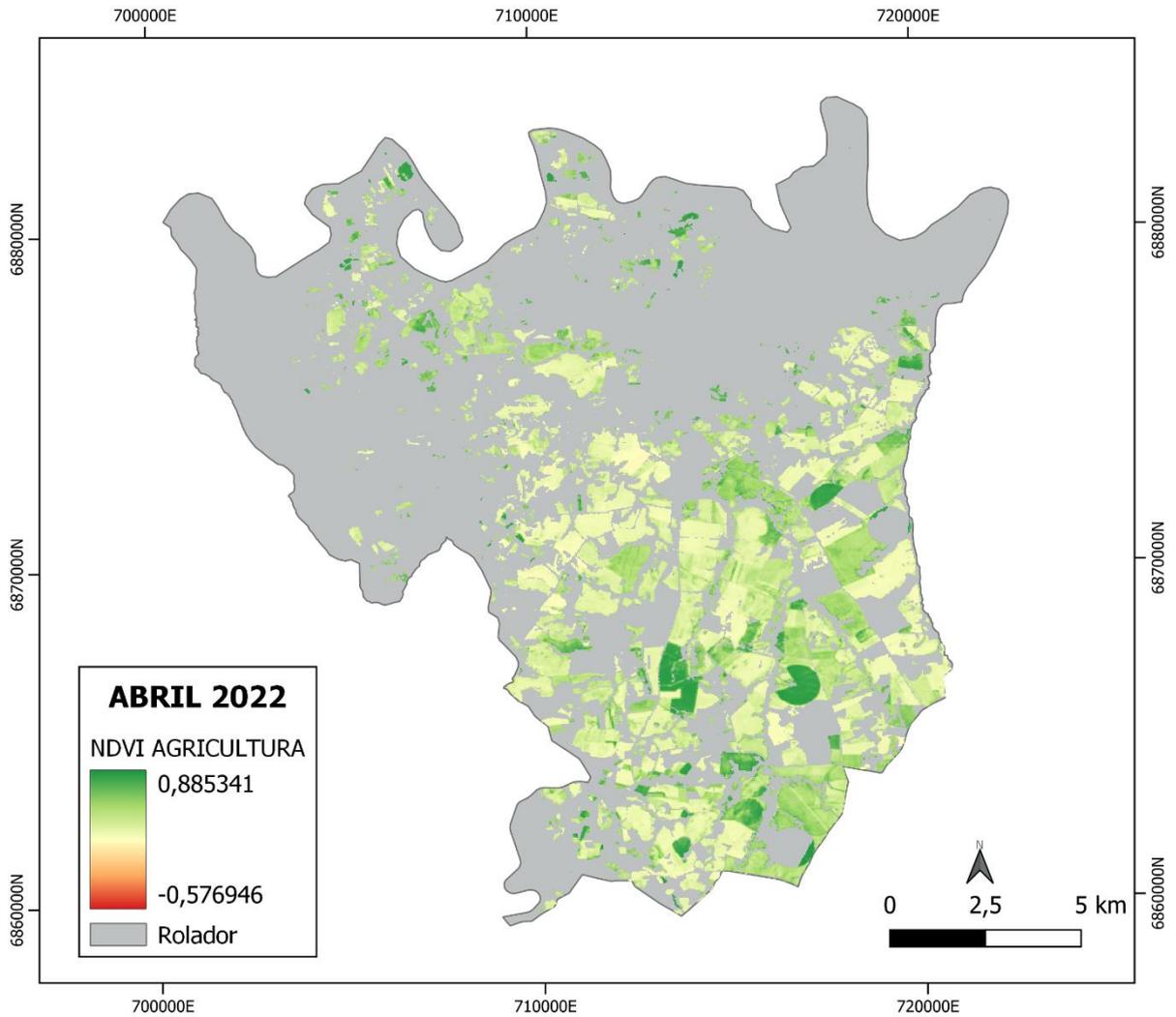
APÊNDICE K – Rolador – NDVI março 2022



SISTEMA DE COORDENADAS GEGRÁFICAS
DATUM: SIRGAS 2000
Elaborado por: Joseane da Silva
Data: 26/11/2022



APÊNDICE L – Rolador – NDVI abril 2022



SISTEMA DE COORDENADAS GEGRÁFICAS
 DATUM: SIRGAS 2000
 Elaborado por: Joseane da Silva
 Data: 26/11/2022

