



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUÍSA WEIZENMANN KORNOWSKI

**RELAÇÃO ENTRE O CULTIVO DE CEVADA E CONDIÇÕES
AMBIENTAIS NO RIO GRANDE DO SUL POR
SENSORIAMENTO REMOTO**

Porto Alegre

2022

LUÍSA WEIZENMANN KORNOWSKI

**RELAÇÃO ENTRE O CULTIVO DE CEVADA E CONDIÇÕES AMBIENTAIS
NO SUL DO BRASIL POR SENSORIAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharela.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Ruhoff

Coorientador: Leonardo Laipelt

Porto Alegre

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Kornowski, Luisa Weizenmann
RELAÇÃO ENTRE O CULTIVO DE CEVADA E CONDIÇÕES
AMBIENTAIS NO RIO GRANDE DO SUL POR SENSORIAMENTO
REMOTO / Luisa Weizenmann Kornowski. -- 2022.
83 f.
Orientador: Anderson Ruhoff.

Coorientador: Leonardo Laipelt.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Sensoriamento remoto. 2. Agricultura. 3. Cevada.
4. Fenologia. 5. Rio Grande do Sul. I. Ruhoff,
Anderson, orient. II. Laipelt, Leonardo, coorient.
III. Título.

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

LUÍSA WEIZENMANN KORNOWSKI

**RELAÇÃO ENTRE O CULTIVO DE CEVADA E CONDIÇÕES AMBIENTAIS
NO SUL DO BRASIL POR SENSORIAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharela.

Aprovado em: Porto Alegre, 17 de outubro de 2022.

Prof. Dr. Anderson Luis Ruhoff – UFRGS
Orientador

Leonardo Laipelt – UFRGS
Coorientador

Elisa de Mello Kich – UFRGS
Examinadora

Vanessa de Arruda Souza – UFRGS
Examinadora

Julia Brusso Rossi – UFRGS
Examinadora

AGRADECIMENTOS

À minha família, que são a base tudo. Ao meu pai Henrique, que me ensinou que disciplina e constância são importantes para alcançar nossos sonhos, à minha mãe Haidi, que todos os dias me ensina a levar a vida com leveza e com um sorriso no rosto. Ao meu irmão Pedro, que me faz querer ser melhor a cada dia e onde eu encontro um refúgio sincero. À minha avó Bernina, que sempre torceu para meu sucesso. E à minha madrinha Katiana, que mesmo de longe sempre foi uma das minhas maiores inspirações, para vida e para carreira.

À minha amiga Elis, que é inspiração, companheirismo, amor e colo, que me acompanhou durante a vida acadêmica e desde o primeiro semestre compartilha a rotina comigo. Obrigada por transformar esta conquista individual em uma conquista compartilhada.

Ao meu professor orientador, Anderson Ruhoff, por me incentivar a transformar um propósito em meu trabalho de conclusão deste curso, que tenho muito orgulho de pertencer. Ao meu coorientador, Leonardo Laipelt, que me deu todo o suporte e conhecimento durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Fernando Fan, pelos conselhos e ensinamentos trocados na graduação, durante a minha experiência de iniciação científica e empresa júnior.

A todos os professores, que contribuíram para minha formação até o momento, das instituições: Projeto Criança Sogipa, Colégio Pastor Dohms, Universitário e Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aos profissionais, colegas e líderes, da Água e Solo Estudos e Projetos e da Ambev, que contribuíram para meu crescimento profissional e estiveram presentes nesta fase inicial de carreira.

RESUMO

A produção agrícola é o setor que mais contribui para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro anualmente. Desta forma, é importante englobá-la em pautas do desenvolvimento sustentável. Buscar ferramentas que visam o monitoramento agrícola auxilia na tomada de decisão, e de forma estratégica é possível alinhar a produção de culturas e a sustentabilidade. O sensoriamento remoto entra como uma ferramenta para atingir este objetivo. Neste contexto, o presente estudo procurou a existência de correlação entre os índices espectrais, utilizados para caracterização fenológica da cevada, e variáveis ambientais em regiões de cultivo para cada um dos meses (maio a novembro), ao longo das safras de 2015 e 2020. Foram consideradas as áreas de cultivo de cevada no estado do Rio Grande do Sul, um dos estados mais representativos no cenário nacional de produção de cevada. Os índices espectrais foram calculados por sensoriamento remoto, para área de estudo: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Leaf Area Index* (LAI) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Além disso, foram obtidos dados climatológicos (precipitação, temperatura da superfície terrestre, temperatura do ar e *Ocean Niño Index* - índice que indica a ocorrência do El Niño ou La Niña), e calculadas as anomalias de cada um deles, buscando a caracterização climatológica. Após a obtenção dos dados foram aplicadas ferramentas estatísticas de correlação entre os próprios índices e as anomalias ambientais. Dentre os principais resultados encontrados, pode ser citado o ápice da atividade fotossintética da cevada ocorrendo nos meses intermediários do cultivo (mais especificamente em agosto para o período analisado). Também foi diagnosticada a correlação entre taxas elevadas de precipitação nos meses iniciais de cultivo e redução da produtividade. Por fim, foram encontradas correlações mais expressivas entre os índices de vegetação (em especial, NDVI e LAI, visto que um NDVI é dado de entrada para cálculo do LAI), a correlação indireta entre a temperatura do ar e índices de vegetação e a correlação entre a temperatura do ar com os valores obtidos para o LST.

Palavras-chave: cevada; agricultura; condições ambientais; Rio Grande do Sul; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Agricultural production is the sector that most contributes to the growth of the Brazilian Gross Domestic Product (GDP) annually. Therefore, it is important to include it in sustainable development guidelines. Searching for tools aimed at agricultural monitoring helps in decision-making, and strategically it is possible to align crop production and sustainability. Remote sensing comes in as a tool to achieve this goal. In this context, the present study looked for the existence of a correlation between the spectral indices, used for the phenological characterization of barley, and environmental variables in growing regions for each of the months (May to November), throughout the 2015 and 2020 harvests. The barley growing areas in the state of Rio Grande do Sul, one of the most representative states in the national scenario of barley production, were considered. The spectral indices were calculated by remote sensing, for the study area: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Leaf Area Index (LAI), and Normalized Difference Water Index (NDWI). In addition, climatological data (precipitation, land surface temperature, air temperature, and Ocean Niño Index - an index that indicates the occurrence of El Niño or La Niña) were obtained, and the anomalies of each of them were calculated, seeking climatological characterization. After obtaining the data, statistical tools were applied to correlate the indices themselves and the environmental anomalies. Among the main results found, it can be mentioned the peak of the photosynthetic activity of barley occurred in the intermediate months of cultivation (more specifically in August for the analyzed period). The correlation between high rates of precipitation in the initial months of cultivation and reduced productivity was also diagnosed. Finally, more expressive correlations were found between the vegetation indices (in particular, NDVI and LAI, since an NDVI is an input for calculating the LAI), the indirect correlation between air temperature and vegetation indices, and the correlation between the air temperature and the values obtained for the LST.

Keywords: barley; agriculture; environmental conditions; Rio Grande do Sul; remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura do grão da cevada	17
Figura 2. Estágios de desenvolvimento da cevada	19
Figura 3. Fase da germinação da semente de cevada.....	20
Figura 4. Fase da germinação da semente de cevada.....	20
Figura 5. Formação do perfilho durante o desenvolvimento da cevada	21
Figura 6. Fase de alongamento do caule durante o desenvolvimento da cevada	22
Figura 7. Fase de maturação do grão durante o desenvolvimento da cevada.	23
Figura 8. Dados produtivos das safras brasileiras de cevada (2012 a 2021) ..	23
Figura 9. Municípios produtores de cevada no Sul do Brasil.....	24
Figura 10. Série histórica da produção de cevada (toneladas) nos estados do Sul do Brasil	25
Figura 11. Série histórica de área plantada de cevada (hectares) nos estados do Sul do Brasil	25
Figura 12. Principais produtores mundiais de cevada (2018 a 2022).....	26
Figura 13. Complexo Agroindustrial da Cevada no Brasil	27
Figura 14. Áreas de cultivo de cevada da mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul entre 2015 e 2020.	32
Figura 15. NDVI mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.	40
Figura 16. EVI mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.	44
Figura 17. NDWI mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.	48
Figura 18. LAI mensal em m^2/m^2 (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.	52
Figura 19. LST mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.	56
Figura 20. Anomalias de precipitação (mm/mm) para o período de 2015 a 2020, em relação ao período base entre 1990 e 2020.....	59
Figura 21. Anomalias de temperatura do ar ($^{\circ}C/^{\circ}C$) para o período de 2015 a 2020, em relação ao período base entre 1990 e 2020.....	60

Figura 22. Anomalias do ONI para o período de 2015 a 2020, em relação ao período base entre 1990 e 2020.	62
Figura 23. Coeficientes de correlação de Pearson entre os índices espectrais e temperatura da superfície mensais para áreas de cultivo de cevada.....	64
Figura 24. Matrizes de dispersão entre os índices espectrais e temperatura da superfície para áreas de cultivo de cevada.	65
Figura 25. Coeficientes de correlação de Pearson entre as condições ambientais.....	67
Figura 26. Matriz de dispersão entre as condições ambientais.	68
Figura 27. Coeficientes de correlação de Pearson entre os índices espectrais mensais, temperatura da superfície e condições ambientais.	69
Figura 28. Matriz de dispersão os índices espectrais mensais, temperatura da superfície e condições ambientais.	70
Figura 29. Fertilizantes utilizados por safra entre 2015 e 2020 em kg/ha.	73
Figura 30. Cevada cervejeira produzida por safra entre 2015 e 2020 em kg/ha.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações gerais do satélite Landsat 8.....	34
Tabela 2. Resultados de NDVI para as safras entre 2015 e 2020.....	42
Tabela 3. Resultados de EVI para as safras entre 2015 e 2020.....	46
Tabela 4. Resultados de NDWI para as safras entre 2015 e 2020.....	50
Tabela 5. Resultados de LAI para as safras entre 2015 e 2020.....	54
Tabela 6. Resultados de LST para as safras entre 2015 e 2020.....	58

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Objetivo	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. Revisão bibliográfica	15
3.1. CEVADA	16
3.1.1. Contexto histórico	16
3.1.2. Aspectos morfológicos.....	16
3.1.3. Parâmetros de qualidade da cevada	17
3.1.4. Ciclo do cultivo da cevada	18
3.1.5. Cenário produtivo no Brasil e no mundo.....	23
3.1.5. Complexo Agroindustrial.....	26
3.2. MONITORAMENTO AGRÍCOLA E DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS .	27
3.2.1. Fenologia	27
3.2.2. Sensoriamento remoto.....	28
3.3. FATORES CLIMÁTICOS E IMPACTOS NA CULTURA DA CEVADA .	29
3.3.1. Precipitação	29
3.3.1. Temperatura do ar	30
3.3.2. <i>El Niño e La Niña</i>	30
4. Materiais e métodos	32
4.1. ÁREA DE ESTUDO	32
4.2. DADOS UTILIZADOS	33
4.2.1. Imagens de satélite.....	33
4.2.2. Precipitação	34
4.2.3. Temperatura do ar	35
4.2.4. <i>El Niño e La Niña</i>	35
4.3. MÉTODOS	35
4.3.1. Índices espectrais e Temperatura da Superfície.....	35
4.3.2. Anomalias	37
4.3.4. Correlações	37
5. Resultados e discussão	39

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PADRÃO SAZONAL DA SAFRA DE CEVADA	39
5.1.1. <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	39
5.1.2. <i>Enhanced Vegetation Index (EVI)</i>	43
5.1.3. <i>Normalized Difference Water Index (NDWI)</i>	47
5.1.4. <i>Leaf Area Index (LAI)</i>	51
5.1.5. <i>Temperatura da Superfície</i>	56
5.2. ANOMALIAS DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS	59
5.2.1. Precipitação	59
5.2.2. Temperatura do ar	60
5.2.3. <i>Oceanic Niño Index (ONI)</i>	61
5.3. CORRELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS	63
5.3.1. Correlação entre os índices espectrais	63
5.3.2. Correlação entre as condições ambientais	67
5.3.3. Correlação entre o padrão sazonal do cultivo da cevada e condições ambientais	69
5.4. RELAÇÃO COM DADOS DE PRODUTIVIDADE	73
6. Conclusão	75
7. Referências bibliográficas	76

1. Introdução

A produção agrícola é um dos principais setores da economia brasileira, sendo o setor que mais contribui para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) anual, segundo o VII Plano Diretor da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) 2020-2030 (Embrapa, 2020). Abordar a agricultura de forma estratégica é imprescindível para o desenvolvimento sustentável, visto que ela serve como ferramenta para solucionar questões ambientais, como a redução das mudanças climáticas pelo sequestro de carbono da atmosfera (Embrapa, 2020). Devido à dinâmica do carbono no solo, o manejo correto do solo é abordado como importante ferramenta para diminuição da emissão dos gases de efeito estufa, devido ao potencial de sequestro de carbono pelas culturas cultivadas (Santi, 2007). Assim é importante dar devido foco às atividades agrícolas na pauta do desenvolvimento sustentável, visto que os estoques de mantêm em equilíbrio no solo de áreas florestais ou reservas legais, enquanto em regiões com interferência antrópica, mais especificamente, referente à expansão da fronteira agrícola, onde os estoques de carbono no solo tendem a diminuir nos primeiros anos (Dávila, 2016).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos, sendo que nos últimos 50 anos a produção aumentou em 703%, o que em área plantada representou 172%. É estimado que para a colheita de 2019/2020 foram produzidas 251,9 milhões de toneladas de grãos, segundo relatório elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em 2021 – *Compilation of Greenhouse Gas Emission and Removal Factors in Brazilian Agriculture*. A produção de cevada no Brasil é destinada comercialmente para abastecimento da indústria produtora de malte. A produção deste grão é relativamente recente, iniciando-se na década de 1970. O cultivo de cevada ocorre no sul do Brasil, devido às condições climáticas favoráveis como alta luminosidade, temperaturas amenas e baixa umidade relativa do ar. Entre 2007 e 2011, o estado do Paraná foi responsável por 62% da produção, o Rio Grande do Sul por 42% e 3% sendo representado pelo estado de Santa Catarina (Embrapa, 2012).

De forma estratégica, devido à importância do Brasil no cenário mundial de produção agrícola, é importante desenvolver tecnologias e ferramentas que possibilitem otimizar os processos e tomar decisões mais assertivas. Com as

mudanças climáticas, já é observada a atmosfera num estado mais ativo, intensificando eventos, como fortes chuvas e ciclos de secas (DE MELO, 2014). Streck & Alberto (2006) afirmam que o aquecimento global possui efeitos negativos no rendimento agrícola, devido ao impacto no ciclo de desenvolvimento das plantas. Com este cenário futuro cada vez mais incerto e extremo, é fundamental o desenvolvimento de metodologias para que seja possível a adoção de práticas agrícolas cada vez mais alinhadas com as condições ambientais, climáticas e meteorológicas de forma regionalizada.

Técnicas de sensoriamento remoto podem ser citadas como uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisões, como aplicações que permitem estimar a produtividade e biomassa de lavouras, presença de pragas, necessidade hídrica de determinada cultura, focado para o local de interesse (BERNARDI et. al., 2014). Lu (2007) descreve o potencial e desafios para estimativa de biomassa a partir do sensoriamento remoto, assim como Loarie et. al. (2011) utilizou desta ferramenta para mapear os impactos diretos no clima local do Brasil, referente à expansão do cultivo da cana de açúcar. Por fim, Menke et. al. (2009) analisaram as mudanças do uso agrícola da terra em um município do estado da Bahia, a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal.

Desta forma, devido ao grande impacto da agricultura nas mudanças climáticas e do impacto do clima nas taxas de rendimento e produtividade, é de extrema importância monitorar as atividades agrícolas e utilizar-se de ferramentas para aprimorar o manejo, buscando produtividade e sustentabilidade para atender à crescente demanda de produção com menos impactos para o meio ambiente (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014).

2. Objetivo

2.1. OBJETIVO GERAL

Definir o comportamento da cultura de cevada durante os meses de cultivo entre os anos de 2015 e 2020 em lavouras no estado do Rio Grande do Sul, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, em relação às condições ambientais.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular índices espectrais (*Leaf Area Index* - LAI, *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI, *Enhanced Vegetation Index* - EVI, *Normalized Difference Water Index* – NDWI) e adquirir dados da temperatura da superfície para áreas da cultura de cevada no estado do Rio Grande do Sul;
- Aquisição de dados climatológicos (precipitação, temperatura do ar e *Ocean Niño Index* - ONI) para região de estudo para os anos de 2015 e 2020;
- Calcular as anomalias dos dados climatológicos entre 2015 e 2020, em relação à série histórica de 1990 a 2020;
- Correlacionar os índices espectrais, temperatura da superfície e anomalias climatológicas.

3. Revisão bibliográfica

3.1. CEVADA

3.1.1. Contexto histórico

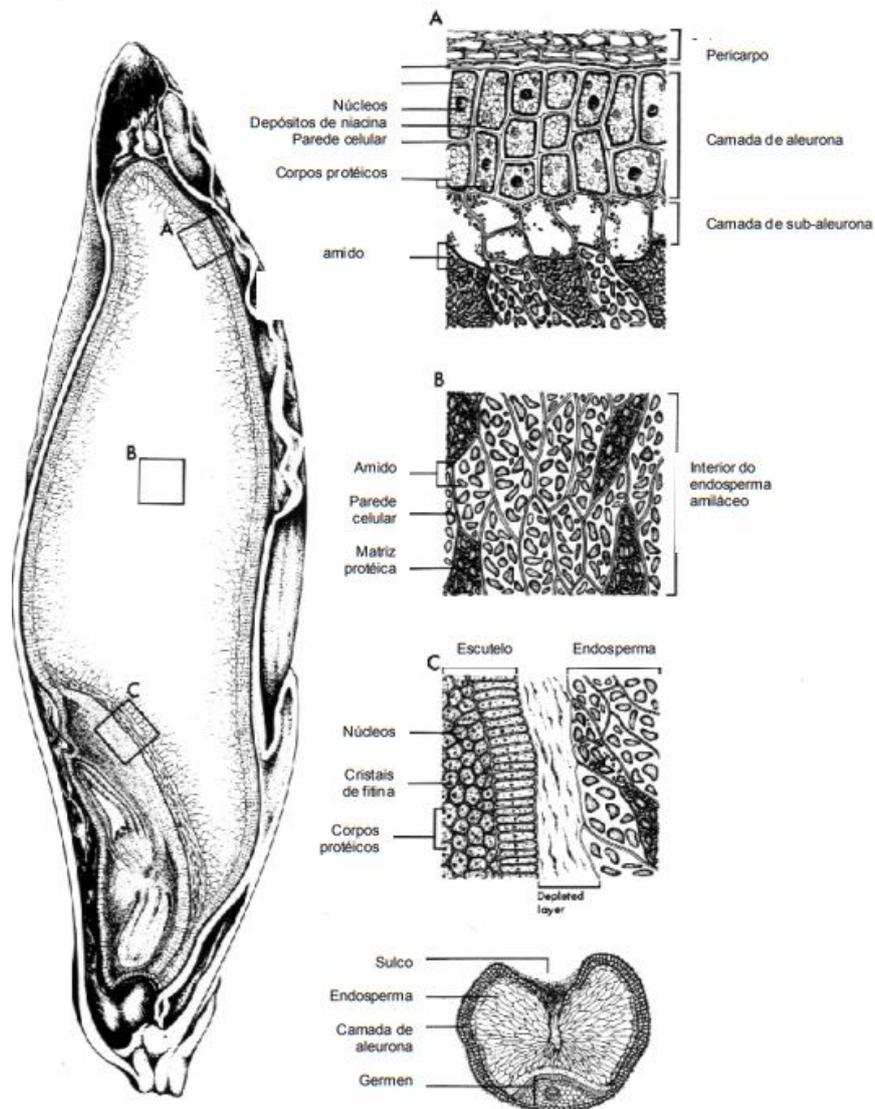
A cevada (*Hordeum vulgare*) é um dos cereais mais antigos cultivados no mundo, cujo plantio originou-se no Oriente Médio, sendo o quinto grão em questão de relevância econômica global, juntamente com o arroz, trigo, soja e milho. A cultura é desenvolvida, principalmente, em climas temperados e é destinada tanto para alimentação humana quanto para alimentação animal, como para fabricação de farinhas, ração animal, e malte para a indústria cervejeira (FONTANA *et. al.*, 2016).

3.1.2. Aspectos morfológicos

A anatomia do grão é constituída por uma casca, um embrião e um endosperma. A composição química da casca resume-se basicamente por fibras, vitaminas do complexo B, minerais e antioxidantes. O embrião também é formado por minerais e vitaminas do complexo B. Já o endosperma é composto por carboidratos, lipídeos e proteínas, sendo fonte de nutrientes para o desenvolvimento do embrião (KRUKLIS, 2019).

Durante a germinação, cada um dos constituintes do grão influencia no metabolismo da semente, desempenhando diferentes papéis durante este processo. A casca e o pericarpo, por serem estruturas mais externas, têm a função de proteger a semente contra absorção de água, fungos, pragas e choques mecânicos. Já o aleurona e o embrião são responsáveis por processos fisiológicos, como produção e liberação de enzimas. Além disso, o embrião produz o ácido giberélico, hormônio responsável por iniciar o processo de germinação do embrião. Na **Figura 1** é possível conferir a estrutura do grão da cevada.

Figura 1. Estrutura do grão da cevada. Fonte: LIZARAZO (2003).



Além de questões genéticas, fatores ambientais influenciam nos aspectos morfológicos do grão como, por exemplo, o aumento da dureza da cevada quando exposta a condições de estresse hídrico. Um dos parâmetros sensíveis a esta alteração ambiental é o teor de proteína presente no grão, que aumenta em locais de climas mais secos (LIZARAZO, 2003).

3.1.3. Parâmetros de qualidade da cevada

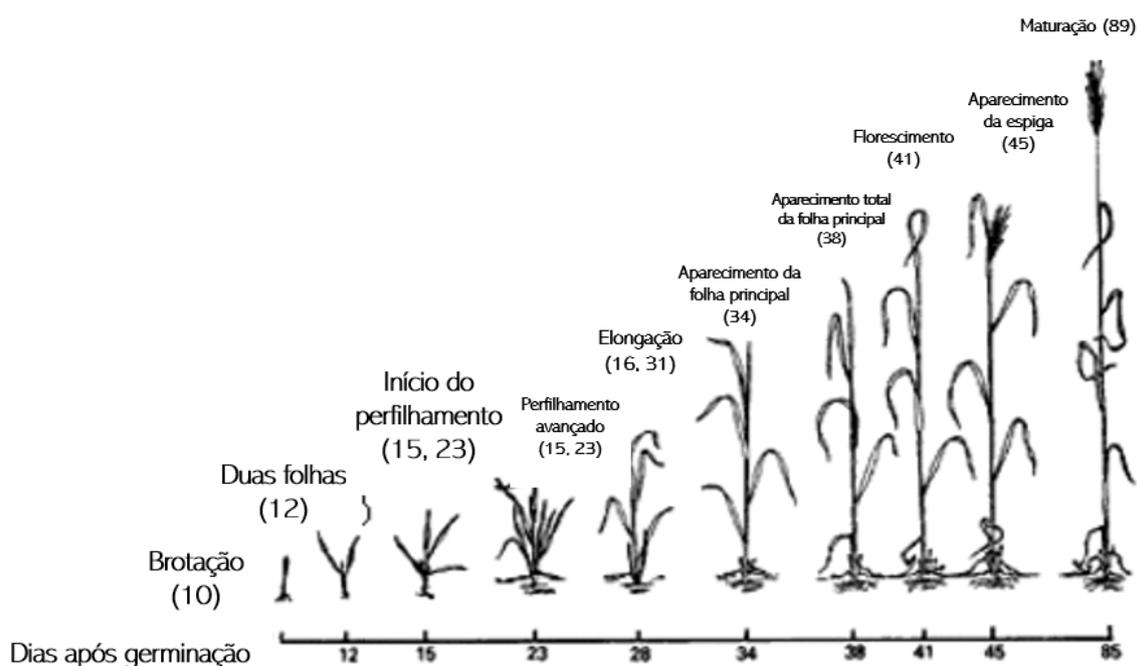
Segundo a Portaria nº 691 de 22 de novembro de 1996, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), são definidos os parâmetros de qualidade da cevada para que possam ser destinadas para fins cervejeiros. A cevada deve ter no mínimo 95% de poder germinativo, no máximo 12% de teor

de proteínas e menos que 5% de grãos avariados. O poder germinativo representa a parcela de grãos vivos existentes em determinada amostra. Já a proteína determina o percentual de substâncias nitrogenadas presentes na matéria seca do grão. Ambos os parâmetros são definidos por métodos analíticos. Os grãos avariados são aqueles que podem ser caracterizados como: grãos ardidos (com alterações na coloração devido à ação excessiva do calor, umidade, fermentação ou de fungos), grãos brotados (com aparência visual de germinação), grãos chocos (com aspecto enrugado, devido ao baixo teor de massa interna no grão, causado pela deficiência de desenvolvimento), grãos imaturos (identificados pela coloração esverdeada, quando não atingiu o estado de desenvolvimento necessário), grãos danificados (por insetos, roedores ou qualquer ação mecânica) ou grãos quebrados. Esta última análise ocorre através de análise visual. Além disso, para fins cervejeiros, é necessário que o cultivar esteja no grupo dos cultivares aprovados e recomendados pela Comissão de Pesquisa de Cevada. Os grãos devem apresentar sanidade, cor e odor característicos, estarem maduros e secos, sem presença de insetos. Outro ponto abordado na Portaria é a necessidade de segregação de safras distintas, além da pureza varietal, que deve ser no mínimo 95%, do teor de umidade, que deve ser inferior a 13%, e a presença de matéria estranha e impurezas, que deve ser inferior a 3%. Caso sejam detectados alguns dos itens a seguir, a comercialização da cevada para consumo humano ou animal, fica proibida: mau estado de conservação, aspecto generalizado de mofo e fermentação, odores que prejudiquem sua utilização normal e valores para teor de micotoxinas, resíduos de produtos fitossanitários ou contaminantes acima do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde.

3.1.4. Ciclo do cultivo da cevada

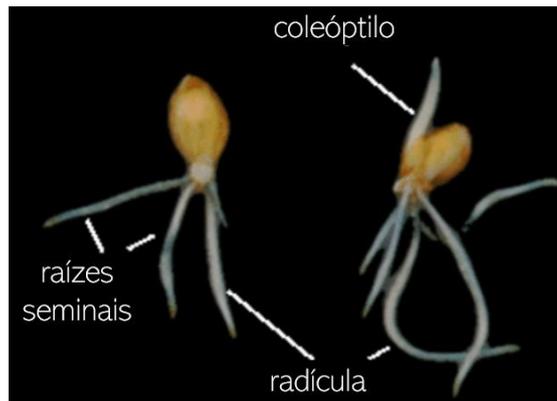
O ciclo de crescimento é dividido em sete estágios de cultivo da cevada. As sete fases do desenvolvimento da cultura são as seguintes: germinação, produção de folhas e sementes, perfilhamento, alongamento do caule, polinização e maturação do grão (UME, 2021). Na **Figura 2** abaixo, é possível observar os estágios de desenvolvimento da cevada, contabilizando em dias após a planta emergir.

Figura 2. Estágios de desenvolvimento da cevada. Fonte: UME (2021).



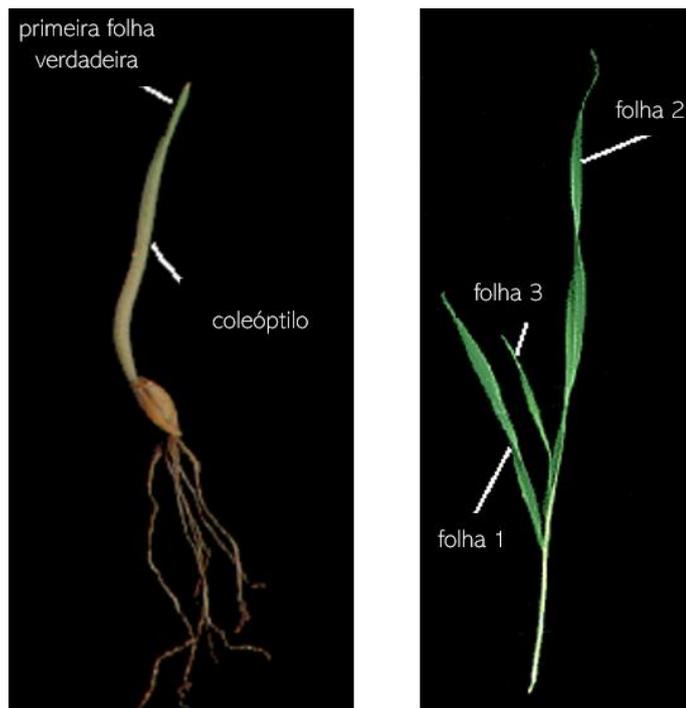
Inicialmente, na etapa de germinação, ocorre o aparecimento da radícula, primeira raiz a brotar após o aumento da umidade. O crescimento da radícula acontece na direção horizontal com o sentido para baixo, buscando um ponto de fixação para se ancorar no solo. Além disso, a radícula busca água e nutriente para absorção e eventualmente são desenvolvidas raízes laterais. Após o aparecimento da radícula, emerge a principal folha do broto, que está envolta pelo coleóptilo, uma estrutura de proteção à medida que o broto penetra no solo. Desta forma, um ponto importante é que a semente não deve ultrapassar o tamanho do coleóptilo, que usualmente possui no máximo 7,6 cm (UME, 2021). Na **Figura 3** é possível observar o grão com destaque para o aparecimento da radícula, raízes laterais e coleóptilo.

Figura 3. Fase da germinação da semente de cevada. Fonte: UME (2021).



Após o estágio de germinação, o coleóptilo para de crescer e ocorre o aparecimento da primeira folha. Passando de três a cinco dias, outras folhas começam a aparecer no broto (UME, 2021). Na **Figura 4** são demonstradas estas fases do período de germinação.

Figura 4. Fase da germinação da semente de cevada. Fonte: UME (2021).



Assim que cerca de três folhas brotam, inicia-se o crescimento dos perfilhos. A capacidade de produzir perfilhos é uma habilidade importante desta cultura, visto que a planta tem capacidade de produzir mais perfilhos, como uma forma de adaptação em relação às condições ambientais ou à baixa densidade da cevada. Em condições normais, o aparecimento de perfilhos acontece num período de duas semanas, variando o número total de unidades formadas

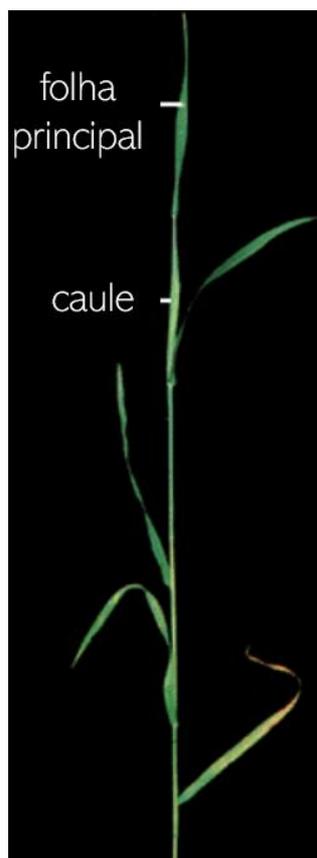
dependendo do varietal e de fatores ambientais do local. Em semeaduras mais profundas e com maior utilização de sementes, o número de perfilhos formados por planta é usualmente menor. Além disso, a produção de perfilhos é acelerada em momentos com temperaturas mais baixas no início da estação e em solos com altos níveis de nitrogênio. Após as primeiras quatro semanas da germinação, a parcela de perfilhos formados começam a morrer. A morte prematura de perfilhos ocorre sob condições de stress durante o crescimento deles (UME, 2021). Na **Figura 5** é dado enfoque para o perfilho em formação.

Figura 5. Formação do perfilho durante o desenvolvimento da cevada. Fonte: UME (2021).



Até as primeiras três a quatro semanas, o crescimento da planta ocorre abaixo da superfície. Após esse período, o caule começa a alongar, passando da superfície do solo. Embora ainda seja pequena, a cabeça (ou ponto de crescimento) começa a crescer de forma mais acelerada (UME, 2021). Na **Figura 6** a seguir, mostra-se em detalhe as estruturas presentes na fase de crescimento do caule.

Figura 6. Fase de alongamento do caule durante o desenvolvimento da cevada. Fonte: [UME \(2021\)](#).

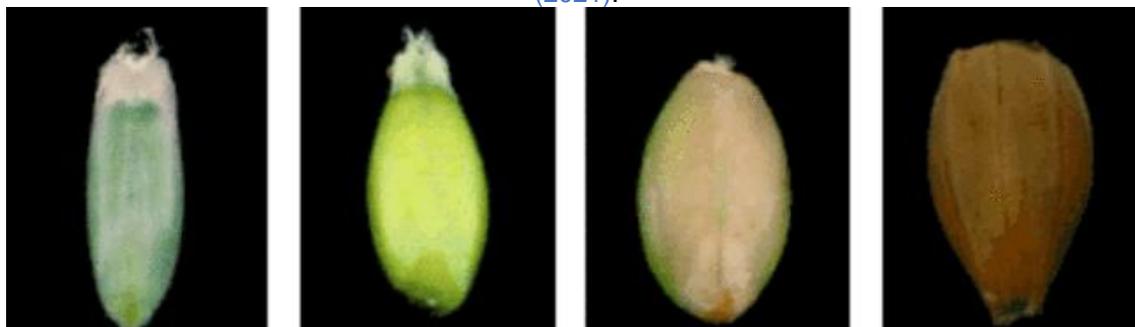


A partir do crescimento do caule, ocorre a fase de polinização, que começa na parte central da cabeça seguindo em direção à base e ao topo. A polinização acontece cerca de seis semanas após a germinação. Devido ao fato de a formação de pólen ser sensível ao déficit hídrico e a altas temperaturas, neste momento o número de perfilhos de ([UME, 2021](#)).

Por fim, ocorre o desenvolvimento de maturação dos grãos. Assim que acontece a polinização, os grãos começam a se desenvolver. Inicialmente são definidos o comprimento e depois a largura dos grãos. A primeira etapa do desenvolvimento do grão ocorre o amadurecimento da parte aquosa do grão. Neste momento será definido o número de células, que posteriormente serão armazenadoras de amido. Este primeiro estágio acontece em cerca de 10 dias. Após este momento, o grão começa a crescer de forma mais acelerada e ocorre o armazenamento de amido, num período de mais ou menos 10 dias. À medida que o grão vai se aproximando do estágio mais maduro, o grão começa a perder água, perdendo entre 30 e 40% de umidade, e a consistência interna torna-se mais sólida. Com isso os grãos começam a perder a cor esverdeada ([UME,](#)

2021). Na **Figura 7** são demonstradas as diferenças do grão ao longo do processo de maturação.

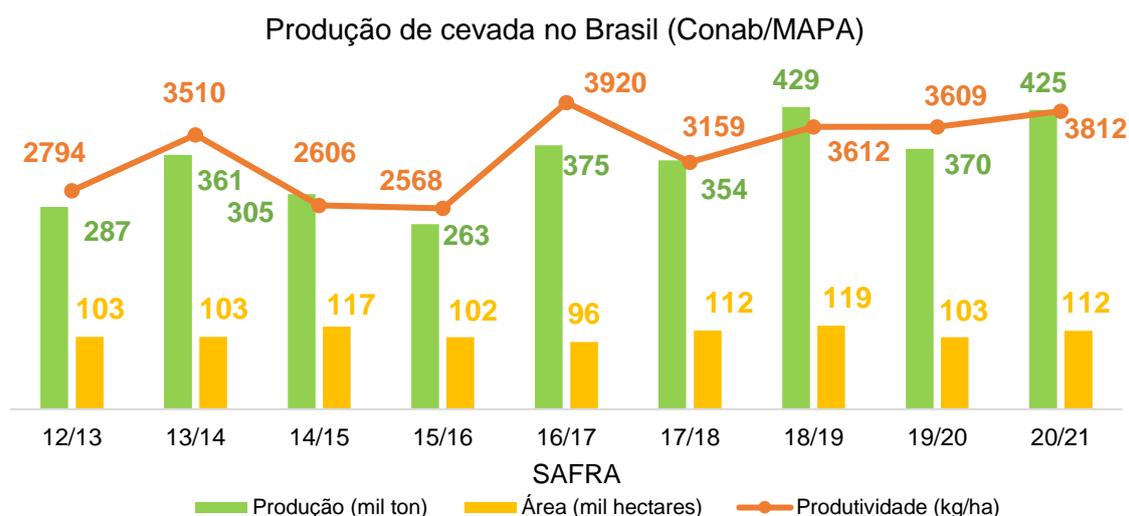
Figura 7. Fase de maturação do grão durante o desenvolvimento da cevada. Fonte: UME (2021).



3.1.5. Cenário produtivo no Brasil e no mundo

O cenário brasileiro de produção de cevada concentra-se no Sul do país, com produção anual média de 340 mil toneladas, chegando a cerca de 108 mil ha em médias anuais plantados. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), é responsável pela coleta de dados da produção anual. Na **Figura 8** é possível conferir os números referentes às safras de cevada entre 2012 e 2021 no Brasil (Conab/MAPA).

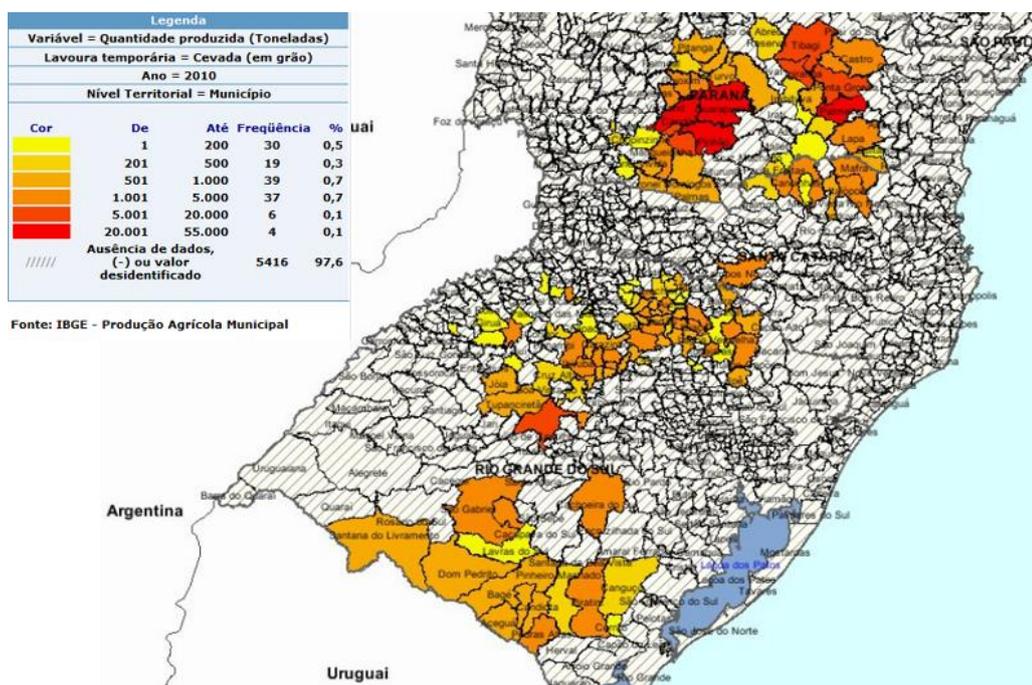
Figura 8. Dados produtivos das safras brasileiras de cevada (2012 a 2021). Fonte: Conab/MAPA.



Referente à produção de cevada no Brasil, a região Sul é a que possui maior expressividade no cenário nacional. A partir das décadas de 1970 e 1980, foi observado um acréscimo no cultivo de cevada, devido a investimentos para

construção de maltarias. Um dos fatores, pelos quais os estados do Sul do Brasil são os maiores produtores de cevada, é o clima favorável à produção de cevada cervejeira. Alta luminosidade, baixa umidade relativa do ar e temperaturas amenas nos primeiros meses do ciclo do plantio são fatores importantes para obter a qualidade cervejeira na cevada (IBGE, 2012). Na **Figura 9** é possível observar a distribuição espacial da produção de cevada por município para o ano de 2010.

Figura 9. Municípios produtores de cevada no Sul do Brasil. Fonte: IBGE (2012).



A partir de levantamentos realizados pelo Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE) para elaboração do Produção Agrícola Municipal de 2020 - PAM 2020 e disponível no Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA, é possível obter séries históricas de dados referentes à produção de cevada brasileira. Abaixo são demonstradas as séries históricas da qualidade produzida anualmente em toneladas e da área destinada ao plantio e colheita da cevada para os três estados da Região Sul, nas **Figura 10** e **Figura 11** respectivamente. Para ambos os casos, o Rio Grande do Sul é o estado com maior participação na produção de cevada nacional até 2006-2007, a partir deste momento o Paraná assume a primeira posição no cenário nacional (IBGE, 2020).

Figura 10. Série histórica da produção de cevada (toneladas) nos estados do Sul do Brasil.
Fonte: SIDRA/IBGE (2020).

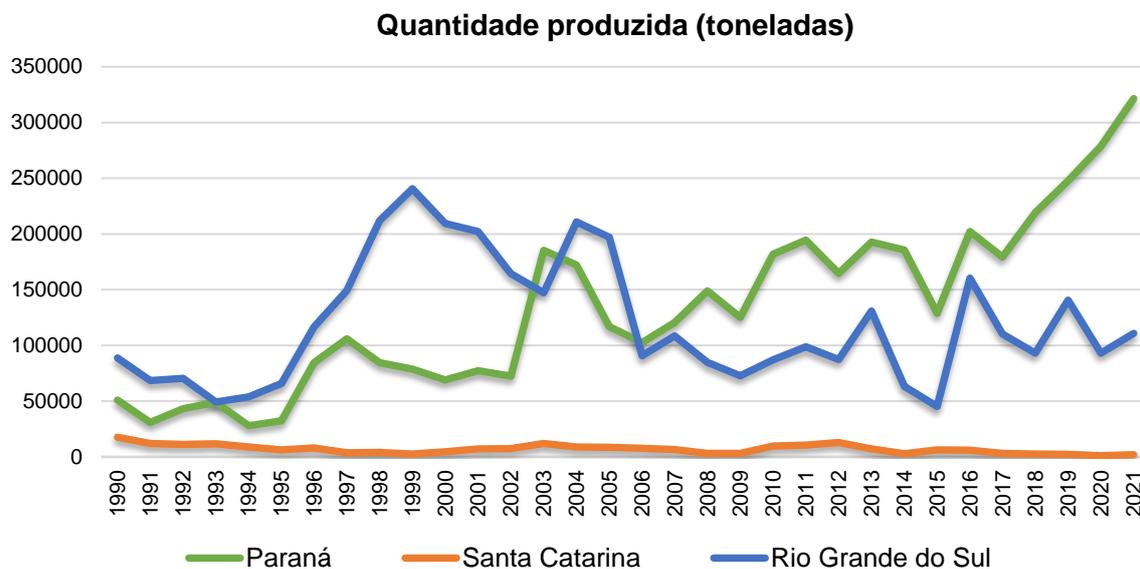
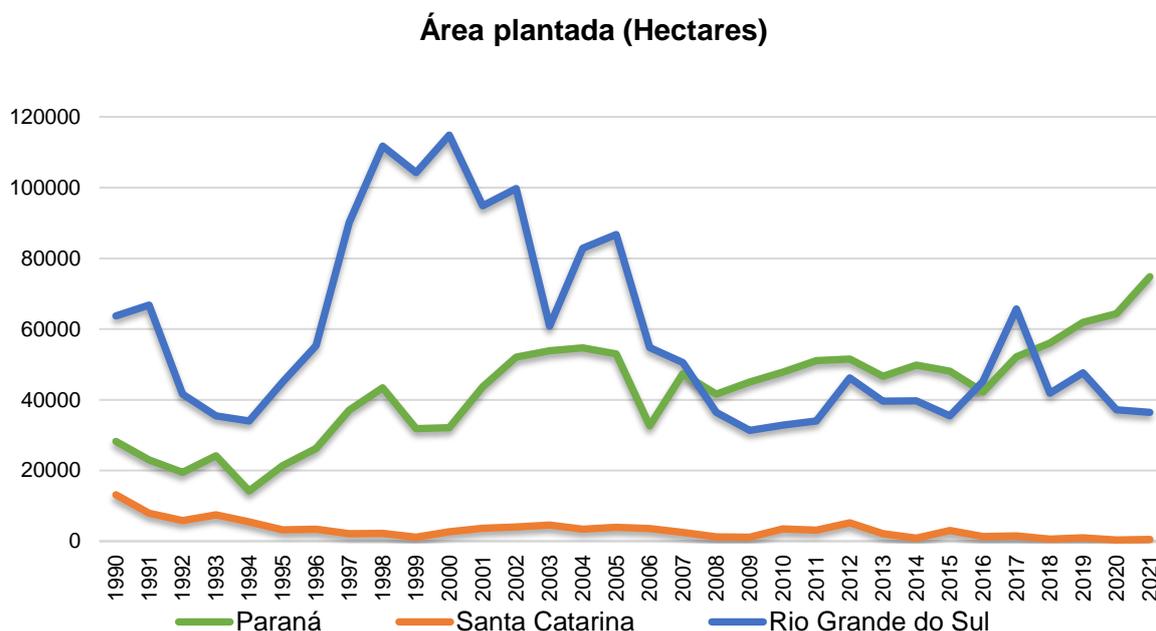


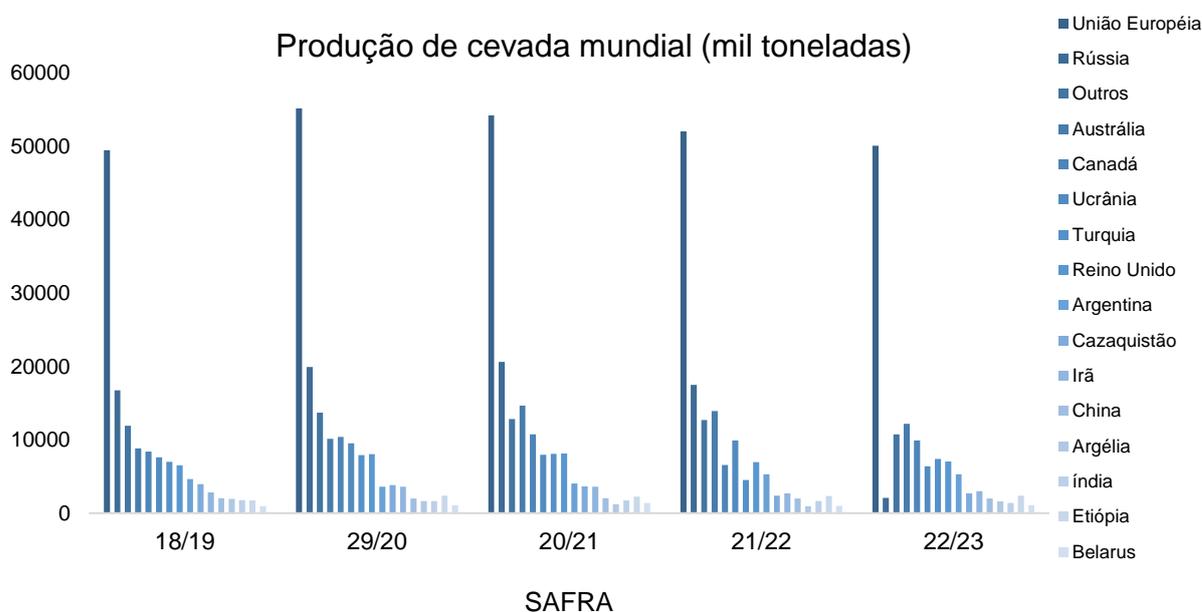
Figura 11. Série histórica de área plantada de cevada (hectares) nos estados do Sul do Brasil.
Fonte: SIDRA/IBGE (2020).



Em escala mundial, a cevada está em quinto lugar na escala dos principais grãos e cereais. Majoritariamente ela é destinada à alimentação animal (cerca de 65%), 20% ao processamento industrial, e o restante para reserva de sementes, alimentação humana direta e outros usos. Segundo dados

do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*World Agricultural Supply and Demand Estimates - WASDE*), em 2019, houve um crescimento de 12% da produção e de 6% em área a níveis globais (DERAL, 2020). A produção de cevada está concentrada em 85% nos seguintes países: Alemanha, França, Espanha, Rússia, Ucrânia, Austrália, Canadá, Turquia, Estado Unidos, Argentina, Irã e China. Já os principais exportadores são: Ucrânia (26,3%), Austrália (22,0%), União Europeia (17,7%), Rússia (11,1%) e Argentina (7,1%) (Embrapa, 2012). Na **Figura 12** são demonstrados dados referentes aos principais produtores de cevada à nível mundial em milhares de toneladas, com destaque à União Europeia e a Rússia, seguidos pela Austrália (WASDE, 2022).

Figura 12. Principais produtores mundiais de cevada (2018 a 2022). Fonte: World Agricultural Supply and Demand Estimates – WASDE.

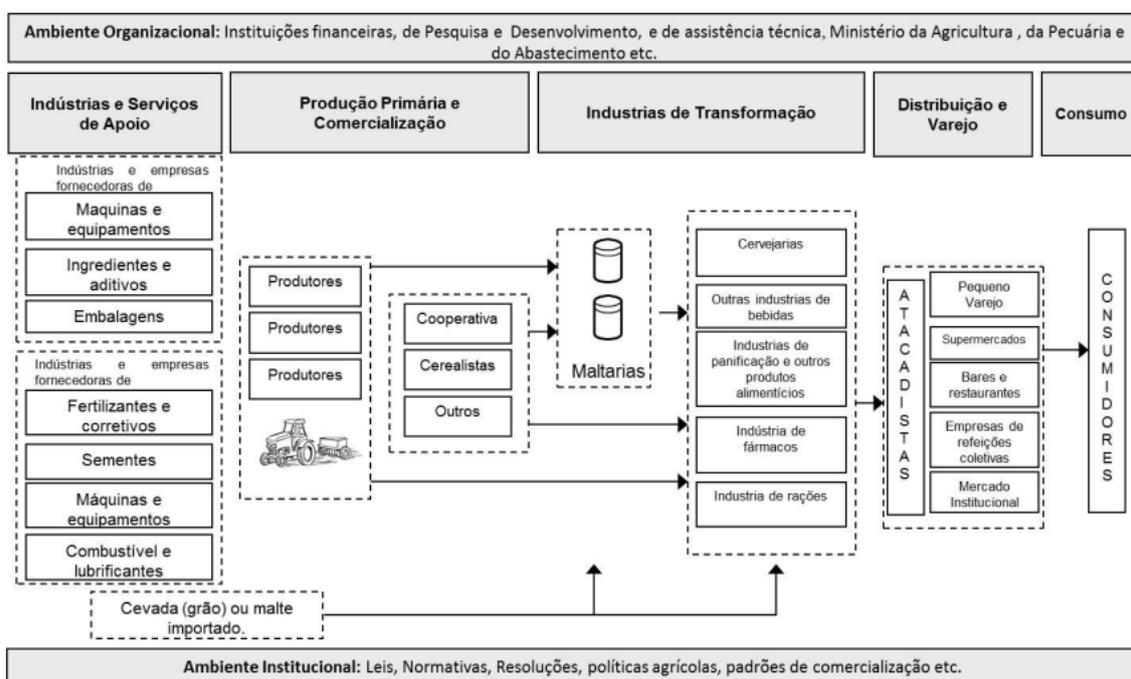


3.1.5. Complexo Agroindustrial

Ao caracterizar-se o fluxo de matérias-primas durante a cadeia produtiva, é elaborado o Complexo Agroindustrial do suprimento. Ele consiste em um mapeamento de processos, tanto industriais quanto comerciais, que englobam a transformação da matéria-prima até os produtos finais de comercialização (BATALHA; SILVA, 2007). O Complexo Agroindustrial da Cevada engloba inicialmente a produção agrícola para abastecimento de indústrias de primeira transformação, como a fabricação de malte, farinhas, flocos, entre outros. A partir disto, estes produtos intermediários são destinados a indústrias de segunda transformação, como a indústria cervejeira, de panificação e de outros produtos.

Por fim, são englobados fluxos de comercialização por atacadistas e varejistas, destinando aos consumidores finais do produto. Este complexo e cadeia de processos está inserido em um ambiente organizacional e institucional, que complementa e influencia no fluxo destes processos. Além disso, outros setores podem vir a entrar nesta cadeia como apoio na produção da cevada, serviços de melhoramento genético de sementes, indústrias de fertilizantes e implementos agrícolas, além de indústrias de embalagens, produtos químicos e outros ingredientes complementares. Na **Figura 13**, é apresentada a esquematização do Complexo Agroindustrial da Cevada no Brasil (Embrapa, 2012).

Figura 13. Complexo Agroindustrial da Cevada no Brasil. Fonte: Embrapa, 2012.



3.2. MONITORAMENTO AGRÍCOLA E DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

3.2.1. Fenologia da vegetação

A fenologia estuda o crescimento e o desenvolvimento de vegetais durante as diferentes fases, sendo uma frente da botânica. Ela aborda as fases de desenvolvimento vegetativo, descrito pela germinação, emergência, crescimento da parte aérea e das raízes, e de desenvolvimento reprodutivo, como a floração, frutificação e maturação. A fenologia é uma ferramenta que auxilia no manejo de diferentes culturas, possibilitando a identificação das necessidades do vegetal a cada etapa do desenvolvimento (CÂMERA, 2006).

Além disso, é possível determinar fatores influentes no desenvolvimento do vegetal de acordo com características locais, auxiliando na tomada de decisão direcionada e alinhada com eventos ambientais para diferentes contextos. As relações entre a fenologia e questões climáticas e meteorológicas são possíveis de diagnosticar a partir de alterações visíveis durante o ciclo de vida das plantas (SOARES *et. al.*, 2018).

3.2.2. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é uma técnica que utiliza informações de radiação eletromagnéticas com o objetivo de extrair informações sobre objetos, áreas e fenômenos localizados na superfície terrestre, sem ter contato com o objeto foco (Baghdadi *et. al.*, 2016). A informação da interação com a radiação eletromagnética é captada por instrumentação, que são sensores acoplados a satélites, plataformas orbitais ou aviões. Estes sensores captam a informação emitida ou refletida, transformando-a em sinal, podendo ser passivos, os quais captam a energia eletromagnética emitida ou refletida pelos alvos, ou ativos, em que a radiação eletromagnética captada é emitida e captada pelo sensor (ANA, 2012).

Por meio de técnicas do sensoriamento, é possível obter dados importantes para manejo de culturas agrícolas como estresse hídrico, estimativa de biomassa, identificação do estágio fenológico da planta, entre outros. Corseuil *et. al.* (2019) utilizaram-no para determinação da aptidão agrícola de uma microbacia e Pereira *et. al.* (2021), a partir do sensoriamento remoto, avaliaram o manejo biológico e químico de cafeeiro. As informações de reflectância em determinados comprimentos de onda e a aplicação de diferentes métodos permitem a obtenção de índices de vegetação, por exemplo, que medem fração radiativa interceptada fotossinteticamente. A intensa maioria dos índices utilizam faixas espectrais do visível e infravermelho próximo (BERNARDI *et. al.*, 2014).

Além de aplicações para o manejo de áreas agrícolas, o sensoriamento remoto é muito utilizado em caracterização e estudos de eventos climáticos. Ribeiro Neto (2017) monitorou e caracterizou secas na América Latina. Pode ser utilizado para buscar relações com *El Niño* e *La Niña*, como realizado por Silva (2018), que realizou a caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pandeiros em Minas Gerais, em momentos com ocorrência *El Niño*. Outros

usos comuns para o sensoriamento remoto são para avaliação de mudanças no uso e cobertura da terra, planejamento urbano e mobilidade urbana, entre outros (BERNARDI *et. al.*, 2014).

Atualmente, existem diferentes plataformas de geoprocessamento que permitem a obtenção de dados remotamente. O *Google Earth Engine* é uma plataforma de geoprocessamento em nuvem e foi desenvolvida para realizar análises em escala global de dados geoespaciais. Permite acessar diversas fontes de dados, além de processá-los e analisá-los com alta eficiência a partir de servidores do Google em um período menor. Esta plataforma integra diferentes tecnologias e dados existentes em sistemas de informações geográficas, ampliando a aplicabilidade do *Google Earth Engine* para diversas análises e estudos (MOTA, 2020).

3.3. FATORES CLIMÁTICOS E IMPACTOS NA CULTURA DA CEVADA

3.3.1. Precipitação

Precipitação é toda água presente na atmosfera, que atinge a superfície terrestre. Ela pode ser observada em forma de chuva, granizo, neve ou neblina. Em bacias hidrográficas, a precipitação representa a principal entrada de água, quando avaliado o balanço hídrico da bacia. Dessa forma, a chuva torna-se um dos principais processos em ciclos hidrológicos, além de ser subsídio quantitativo de abastecimento de água, de irrigação, de erosão do solo, entre outros (COLLISHONN *et. al.*, 2015).

Durante o cultivo da cevada o déficit hídrico impacta mais intensamente quando a planta é mais sensível a este fator ambiental, ou seja, do final do alongamento do caule até o início da maturação dos grãos (SALTER *et. al.*, 1967). LAWLOR *et al.* (1981) verificaram que o índice de área foliar foi impactado devido ao déficit hídrico durante os primeiros estágios do desenvolvimento da cevada.

Os efeitos da ocorrência de déficits hídricos podem variar com a intensidade, duração e estágio fenológico da cultura. O primeiro estágio até o momento da floração, ou formação de grãos, é o mais sensível dentre as outras etapas do desenvolvimento da cevada (URCHEI, 1992).

3.3.2. Temperatura do ar

Segundo o portal do Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (USP), a temperatura do ar representa o balanço entre radiação de entrada e de saída de cada uma das camadas da atmosfera terrestre. A variação da temperatura do ar é influenciada pelos fluxos de calor latente e sensível. Além disso, recebe influência da isolação solar, características da superfície, distância de corpos hídricos, relevo, ventos predominantes e correntes oceânicas. Outro fator de influência na temperatura do ar é a latitude, visto que em locais de maior latitude, a superfície terrestre recebe de forma mais inclinada os raios solares, enquanto em latitudes menores ocorre um maior aquecimento da superfície.

Para culturas de inverno, como é caracterizada a cevada, o aumento de temperatura é visto como um fator crítico, afetando o cultivo segundo [Santi et al. \(2017\)](#). No estudo realizado por [Ribeiro et al. \(2009\)](#), são esclarecidas que variações na temperatura afetam a duração das fenofases, e conseqüentemente, a produtividade da cultura.

3.3.3. *El Niño e La Niña*

A variação da temperatura da superfície do Oceano Pacífico proporciona diferentes anomalias meteorológicas em escala global. Estes fenômenos afetam a circulação atmosférica, principalmente o regime pluviométrico. O *El Niño* é o aquecimento anormal do Oceano Pacífico Equatorial que, com a diminuição dos ventos alísios, altera a circulação atmosférica. Nestes anos, a célula de Walker muda de posição, deslocando-se para o Pacífico Equatorial Leste, que forma dois ramos descendentes (um sobre o Atlântico e Nordeste do Brasil) ([FREIRE et al, 2011](#)). Em situações opostas, ocorre o fenômeno denominado *La Niña*, quando as águas do Pacífico apresentam um resfriamento anômalo da temperatura da superfície, fazendo com que a Célula de Walker fique mais alongada que o normal ([OLIVEIRA, 2001](#)). No Sul do Brasil, em anos de *El Niño*, ocorre um aumento no regime pluviométrico, enquanto em anos de *La Niña* há a ocorrência de estiagem, segundo Portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Em dois momentos do ano são sentidos mais fortemente os impactos destes eventos: entre outubro e dezembro, no próprio ano de ocorrência do fenômeno, e entre abril e junho, do ano subseqüente. Desta forma,

podem ser resumidos os impactos, como alteração no regime de chuvas nestes meses, com valores acima da média em anos de *El Niño* e com valores abaixo da média em anos de *La Niña* (CUNHA *et al.*, 2001).

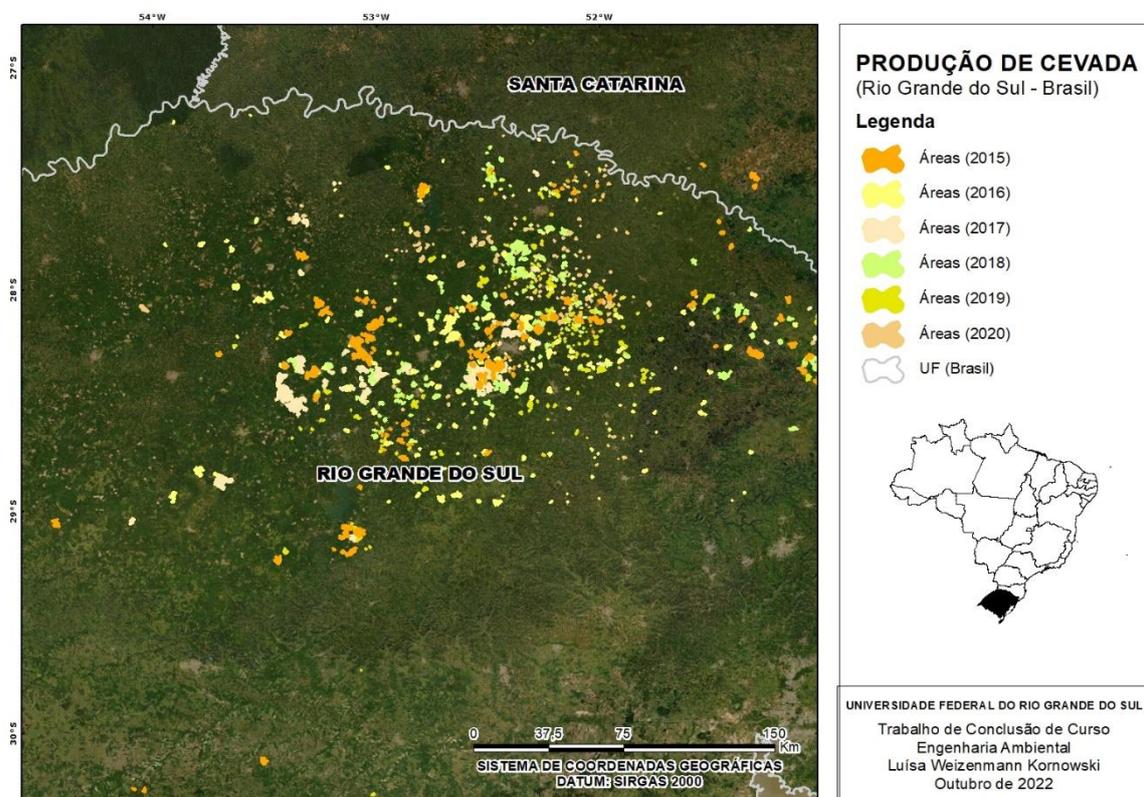
Foi verificado por CUNHA *et al* (2001), que em anos de *La Niña* o rendimento das safras de cevada foi maior, enquanto em anos de *El Niño* foram menores. Estas variações na produção podem ser explicadas pela influência destes fenômenos no regime de chuva na primavera e início do verão (GRIMM *et al.*, 1996; FONTANA *et al.*, 1997). Em anos com excesso de chuvas, criam-se condições propícias para o desenvolvimento de doenças nas plantações, afetando a produtividade dos grãos de cevada (ARIAS, 1995).

4. Materiais e métodos

4.1. ÁREA DE ESTUDO

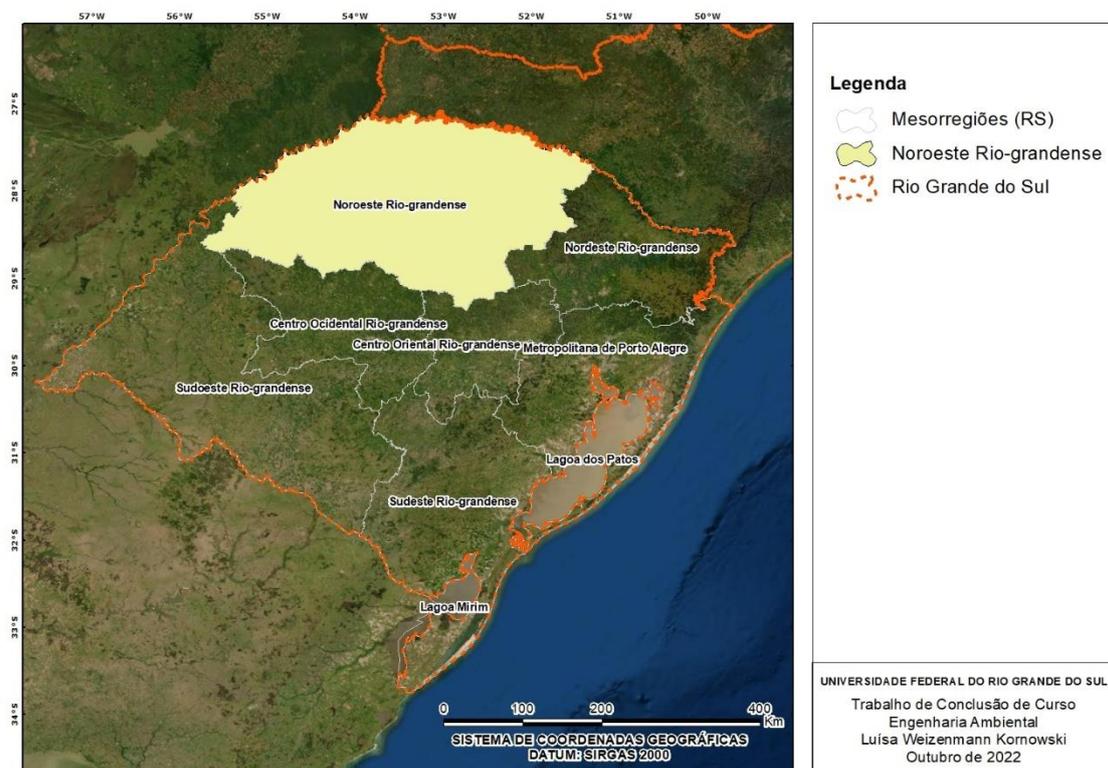
Foram selecionadas as áreas produtoras de cevada da mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul, para os anos de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020, para delimitação da área de estudo. A localização das propriedades foram informadas pelos próprios produtores de cevada. Na **Figura 14** é possível conferir as áreas selecionadas para cada ano, respectivamente.

Figura 14. Áreas de cultivo de cevada da mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul entre 2015 e 2020.



A correlação com as condições ambientais foi realizada através da extração dos dados climatológicos para mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul, visto o predomínio das áreas de cultivo de cevada para os anos analisados nessa região. Na **Figura 15** é apresentado as mesorregiões gaúchas.

Figura 15. Mesorregiões do Rio Grande do Sul.



4.2. DADOS UTILIZADOS

4.2.1. Imagens de satélite

Como base de dados espaciais, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8. O Landsat 8 possui dois sensores: *Operation Land Imager* (OLI), que obtém informações multiespectrais, e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), para obtenção de imagens termais. Estes sensores possuem uma resolução espacial de 30 metros para as bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. Foram selecionadas as imagens entre maio e novembro para os anos de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020. A obtenção e análise destes dados foi pela plataforma do *Google Earth Engine*. A **Tabela 1** apresenta as informações dos sensores presentes no Landsat 8.

Tabela 1. Informações gerais do satélite Landsat 8.

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Áreas imageadas	Resolução radiométrica
OLI	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 μm				
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 μm				
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm				
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	15 m			
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m			
TIRS	(B10) LWIR - 1	10.30 - 11.30 μm	100 m			
	(B11) LWIR - 2	11.50 - 12.50 μm				

4.2.2. Precipitação

Para os dados de precipitação, utilizou-se o produto de sensoriamento remoto, denominado *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS). A resolução espacial destes dados é de $0,05^\circ$ e a resolução temporal é diária. Os valores foram expressos em milímetros (mm) para cada um dos meses no período de estudo. O CHIRPS mescla dados de imagens de satélites e dados de estações pluviométricas, com o intuito de obter séries temporais de precipitação, buscando analisar tendências e monitorar secas sazonais. A obtenção e análise destes dados foi pela plataforma do *Google Earth Engine*.

4.2.3. Temperatura do ar

Os dados de temperatura do ar foram obtidos através do banco de dados de reanálise *ECMWF Reanalysis v5* (ERA5), cujos valores foram expressos como média mensal em graus Celsius. Este banco de dados é um produto do *Copernicus Climate Change Service*. Os dados estão disponíveis desde 1950. O ERA5 é uma reanálise atmosférica do clima global, que fornece estimativas de variáveis atmosféricas, terrestres e oceânicas com resolução de 30 km. A obtenção e análise destes dados foi pela plataforma do *Google Earth Engine*.

4.2.4. El Niño e La Niña

Para avaliar a presença de *El Niño* ou *La Niña* em determinado mês, utilizou-se o *Ocean Niño Index*, disponibilizados pelo *Climate Prediction Center*, do *National Weather Service*, do governo dos Estados Unidos. É um índice mensal, que demonstra a ocorrência dos fenômenos, a partir do cálculo das anomalias nas temperaturas mensais. A metodologia será descrita no item 4.3.2. Foram selecionados os dados entre 2015 e 2020, e a média histórica para o cálculo das anomalias foi de 1990 a 2020.

4.3. MÉTODOS

4.3.1. Índices espectrais e Temperatura da Superfície

Com o intuito de compreender o comportamento do cultivo da cevada durante os diferentes meses da safra, foram calculados os seguintes índices espectrais utilizando dados de sensoriamento remoto: *Leaf Area Index* (LAI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), e *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Ainda se obteve estimativas de Temperatura da Superfície (*Land Surface Temperature – LST*).

[ROUSE et al. \(1974\)](#) definiu uma relação entre as faixas do vermelho e do infravermelho próximo para mapeamento das áreas com presença vegetal, propondo o índice NDVI. Os valores do NDVI variam entre -1 e 1. Valores próximos de 0 indicam pouca ou a não presença de vegetação, enquanto valores próximos de 1 indicam intensa presença vegetativa, sendo assim para áreas com

vegetação possuem os valores entre 0 e 1. O NDVI é calculado, segundo a **Equação 1**:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{banda infravermelho próximo}) - (\text{banda vermelho})}{(\text{banda infravermelho próximo}) + (\text{banda vermelho})} \quad (1)$$

Para caracterização da presença de água na vegetação ou solo, foi aplicado o NDWI. Ele é calculado a partir da combinação das bandas verde e infravermelho próximo (MCFEETER, 1996). É indicado para avaliação de áreas agrícolas irrigadas, sendo seus valores definidos entre -1 e 1. Valores positivos indicam superfícies com presença de água e menores que 0 não indicam a presença de água, segundo BRUBACHER & GUASSELLI (2013). É possível calcular o NDWI seguindo a **Equação 2**:

$$\text{NDWI} = \frac{(\text{banda verde}) - (\text{banda infravermelho próximo})}{(\text{banda verde}) + (\text{banda infravermelho próximo})} \quad (2)$$

O EVI corresponde a um índice de vegetação melhorado, visto que são aplicados fatores de correção para minimizar os efeitos de aerossóis na atmosfera. Este índice busca a otimização da resposta da vegetação, através do refinamento da sensibilidade referente a maiores densidades de biomassa, por meio da redução dos efeitos atmosféricos (HEUTE *et al.*, 2002). O cálculo do EVI foi realizado, de acordo com a **Equação 3** (JUSTICE, 1998):

$$\text{EVI} = 2,5 * \frac{\text{banda infravermelho próximo} - \text{banda vermelho}}{\text{banda infravermelho próximo} + 6 * \text{banda vermelho} - 7,5 * \text{banda azul} + 1} \quad (3)$$

O LAI representa o índice de área foliar em relação à área total, em m²/m² (FISHER *et al.*, 2009). Este índice indica a relação existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura. Pode expressar o rendimento agrícola de determinada cultura, visto que representa a quantidade de matéria colhida por unidade de área (Watson, 1952). O cálculo do LAI pode ser expresso pela **Equação 4** (FISHER *et al.*, 2009):

$$\text{LAI} = -\ln(1 - f_C) / k_{\text{PAR}} \quad (4)$$

em que k_{PAR} é o coeficiente LAI, cujo valor é de 0,35, e f_C representa a cobertura vegetal total fracionada definida pela Equação 5 (FISHER *et al.*, 2009):

$$f_C = 1,0 * \text{NDVI} - 0,05 \quad (5)$$

em que o NVDI é representado na **Equação 1**.

A temperatura da superfície (LST) representa um dos comprimentos de onda da radiação solar emitida pela superfície da terra (RUNNING et al., 1994), assumindo importante função no diagnóstico do balanço de energia da superfície (calor sensível, saldo de radiação e fluxo de calor do solo), definido por ANDERSON et al. (2012).

A partir de produtos de sensoriamento é possível obter a LST, como no produto MOD11 do instrumento de satélites da NASA (MODIS). Este produto de sensoriamento remoto é de escala global, cuja resolução espacial é de 1 km.

4.3.2. Anomalias

Com o intuito de mapear variações nas condições climáticas, foram estimadas anomalias mensais para cada um dos fatores ambientais analisados entre 2015 e 2020. As anomalias foram calculadas a partir do z-score, indicando variações no desvio da média e seu respectivo sentido (ANDERSON et al., 2010). Na **Equação 6** é indicado o cálculo do z-score.

$$z = \frac{(\bar{X}_m - \overline{(\bar{X}_m)})}{\sigma(\bar{X}_m)} \quad (6)$$

em que z é o z-score; X é a variável em estudo; \bar{X}_m é a média mensal para cada mês m ; $\overline{(\bar{X}_m)}$ é a média de \bar{X}_m para o mesmo mês do ano, dentro do período em análise; e $\sigma(\bar{X}_m)$ é o desvio padrão de \bar{X}_m para a série temporal total de determinado mês do ano.

Para compreender os desvios das condições climáticas em cada mês das safras de cevada entre 2015 e 2020, foram analisadas as anomalias das variáveis ambientais - Precipitação (mm) e Temperatura do ar (°C) – e do índice *Ocean Niño Index* (ONI). Para o cálculo de anomalia foram levantadas séries históricas de 1990 a 2020 de cada uma das variáveis, com o intuito de calcular a média mensal histórica. A partir destes valores é possível identificar o desvio mensal para o período de interesse.

4.3.4. Correlações

Para entendimento da relação entre os fatores em análise, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson através da **Equação 7**:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

em que r é o coeficiente de correlação de Pearson; x e y são os valores das duas variáveis cuja correlação está sendo analisada; e \bar{x} e \bar{y} são as médias de cada variável.

Os valores variam entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1 maior a correlação positiva existente entre duas variáveis, enquanto mais próximo de -1 indica uma correlação negativa entre duas variáveis.

5. Resultados e discussão

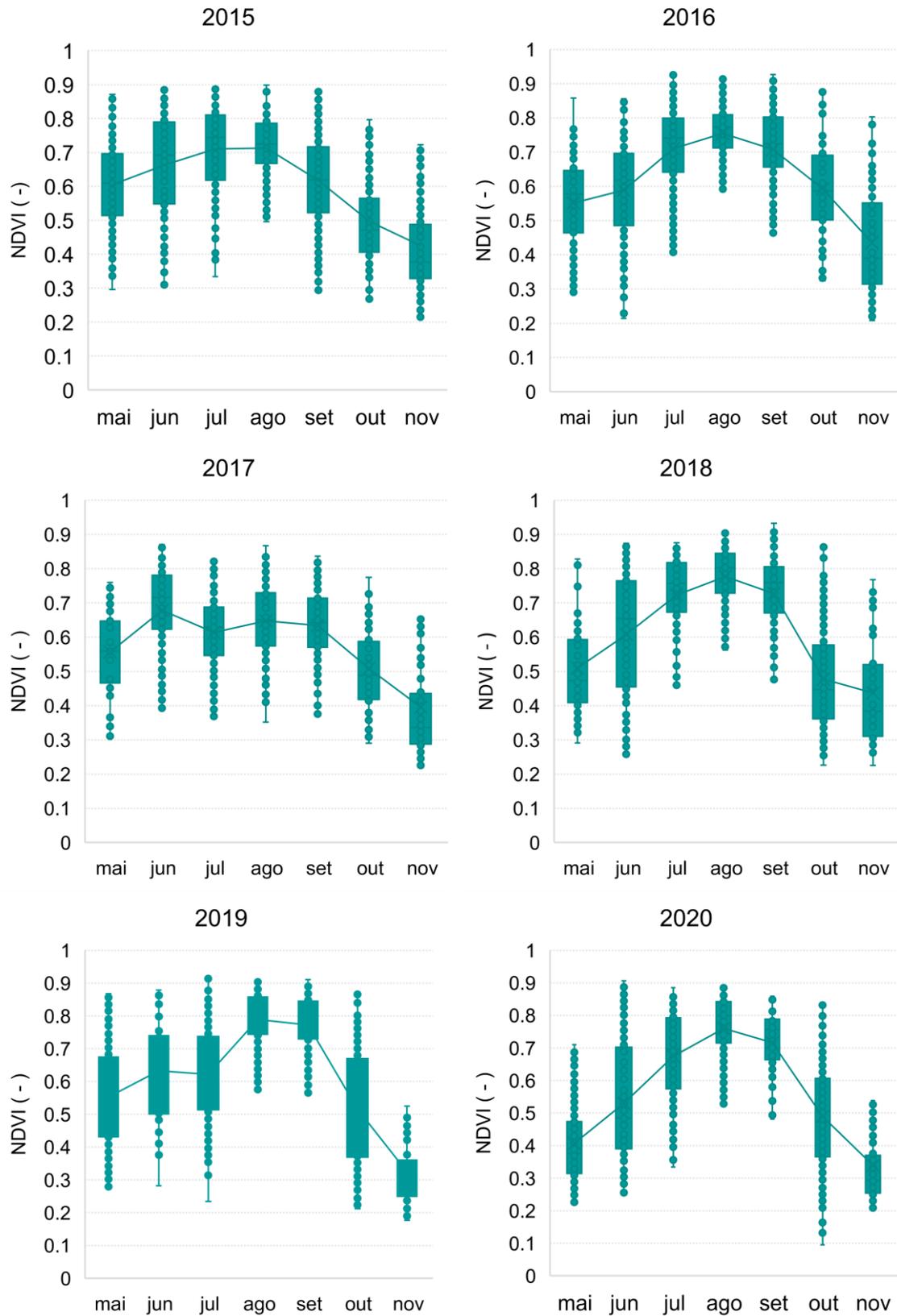
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PADRÃO SAZONAL DA SAFRA DE CEVADA

Foram calculados os índices espectrais e a temperatura da superfície de cada uma das propriedades delimitadas referentes às safras de 2015 a 2020 durante os meses que compõem o plantio do ciclo da cevada no Rio Grande do Sul. Por caracterizar-se como uma cultura de inverno, obteve-se dados de NDVI, EVI, NDWI, LAI e LST de maio a novembro.

5.1.1. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Na **Figura 15**, é possível conferir o conjunto de resultados de NDVI mensal, obtidos para cada uma das propriedades das safras de cevada entre 2015 e 2020 no Rio Grande do Sul.

Figura 15. NDVI mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.



Os resultados de NDVI variaram, majoritariamente, entre 0,2 e 0,9, exceto em outubro de 2020, período em que alguns valores ficaram abaixo de 0,2. No início do cultivo no mês de maio, o NDVI apresentou valores baixos, devido às etapas de desenvolvimento inicial do plantio. Entre maio e julho, para todos os anos, houve incremento até o mês agosto, quando se obteve os valores máximos de NDVI, salvo o ano de 2017. É possível observar o crescimento dos valores de maio para junho, chegando neste mês nos resultados máximos, decrescendo em julho e mantendo aproximadamente constante nos dois meses subsequentes. Os valores máximos, referente ao mês de agosto, variam entre 0,5 e 0,9, desconsiderando aqui o ano de 2017, que apresentou valores máximos em maio. Após agosto e a partir de setembro, para todas as safras anuais analisadas, os resultados de NDVI decrescem até novembro, período em que ocorre a colheita da cevada.

Por NDVI ser um índice que detecta a presença de vegetação, os valores mais altos do índice coincidem com os meses intermediários da safra, com o aumento gradual desde o momento da semeadura até fases de maior desenvolvimento vegetal, como ocorre nos meses de agosto e setembro. No final do ciclo do cultivo da cevada até a fase de colheita, os resultados com valores menores representam o momento, em que o metabolismo da planta e a atividade fotossintética já estão menores.

Além disso, os resultados apresentaram maiores desvio padrão nos meses iniciais e finais, podendo ser explicado pelas datas de semeadura e de colheita distintas entre as propriedades. Na **Tabela 2** abaixo, é possível conferir a média, desvio padrão e valores mínimo e máximo de NDVI para cada um dos meses analisados entre 2015 e 2020.

Tabela 2. Resultados de NDVI para as safras entre 2015 e 2020.

NDVI	2015						
	Maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,60	0,66	0,71	0,71	0,62	0,50	0,42
Desvio Padrão	0,12	0,15	0,12	0,10	0,14	0,12	0,14
Mínimo	0,23	0,30	0,33	0,11	0,29	0,26	0,21
Máximo	0,87	0,88	0,89	0,90	0,88	0,82	0,84
	2016						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,55	0,59	0,71	0,76	0,71	0,59	0,43
Desvio Padrão	0,13	0,14	0,12	0,09	0,13	0,14	0,15
Mínimo	0,29	0,05	0,28	0,19	0,19	0,32	0,21
Máximo	0,86	0,85	0,93	0,91	0,93	0,88	0,80
	2017						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,56	0,68	0,61	0,65	0,64	0,51	0,40
Desvio Padrão	0,13	0,13	0,10	0,11	0,11	0,12	0,16
Mínimo	0,31	0,32	0,31	0,33	0,35	0,29	0,22
Máximo	0,76	0,87	0,82	0,87	0,84	0,84	0,88
	2018						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,51	0,61	0,72	0,78	0,73	0,48	0,44
Desvio Padrão	0,13	0,17	0,13	0,09	0,13	0,14	0,16
Mínimo	0,29	0,26	0,29	0,39	0,24	0,23	0,22
Máximo	0,83	0,87	0,88	0,90	0,93	0,87	0,87
	2019						
	maio	Junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,55	0,63	0,62	0,79	0,77	0,51	0,32
Desvio Padrão	0,15	0,15	0,15	0,09	0,11	0,17	0,10
Mínimo	0,28	0,28	0,23	0,35	0,28	0,21	0,18
Máximo	0,87	0,88	0,91	0,91	0,91	0,87	0,80
	2020						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,41	0,53	0,67	0,76	0,72	0,50	0,34
Desvio Padrão	0,12	0,18	0,13	0,11	0,10	0,16	0,13
Mínimo	0,22	0,25	0,33	0,27	0,41	0,09	0,21
Máximo	0,88	0,91	0,88	0,89	0,86	0,84	0,80

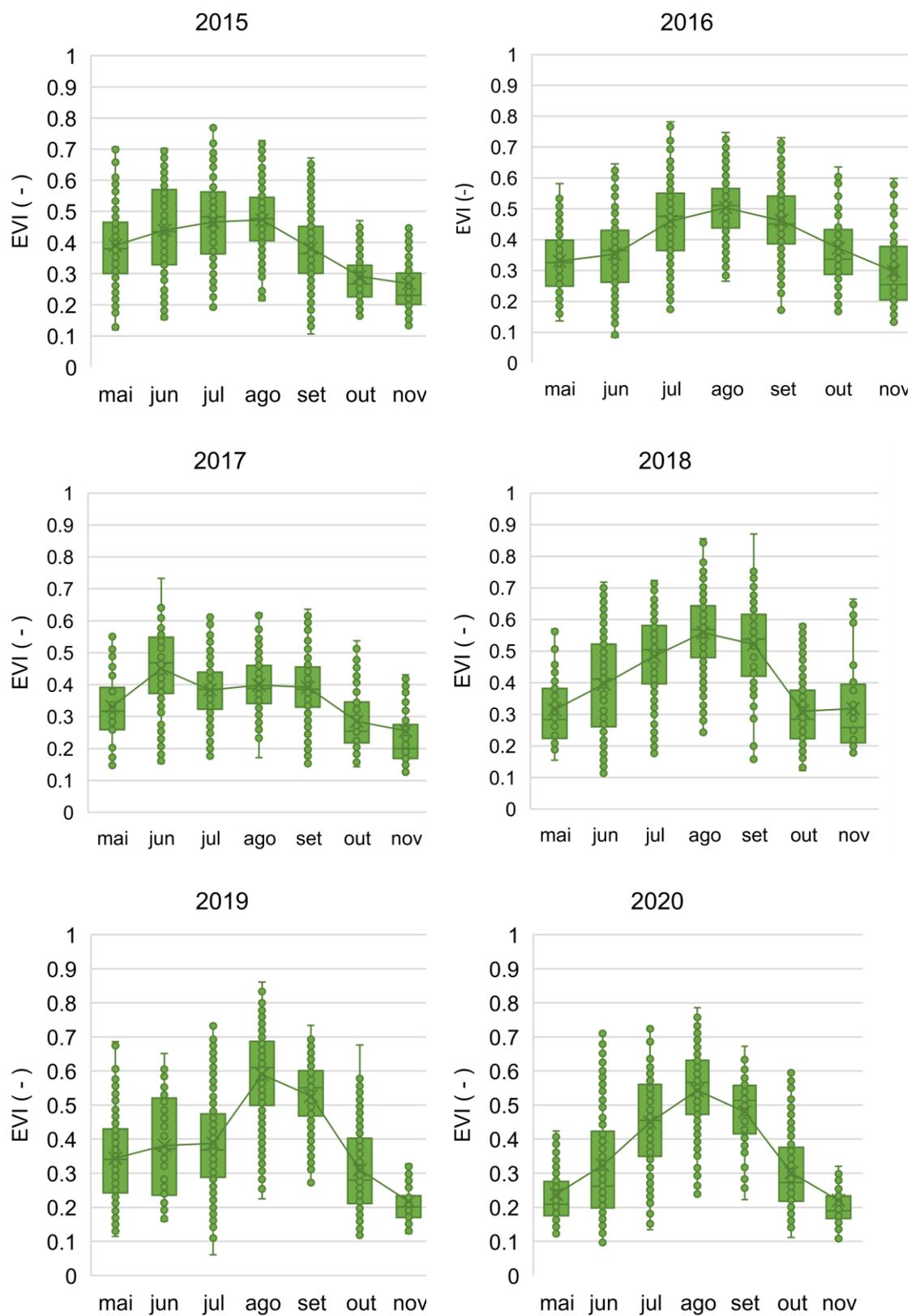
Como observado por [Junges et. al. \(2009\)](#), num estudo realizado para caracterização de cereais de inverno (trigo, aveia e cevada) a partir do NDVI, o ápice dos resultados encontrados para as três culturas foi no quarto mês da safra, assim como observado neste estudo, cujos maiores valores foram observados em agosto, com exceção de 2017. Segundo estudo de [Junges et. al. \(2007\)](#), que a partir de imagens MODIS observaram o comportamento do NDVI para cereais de inverno em 2006, na mesma área de estudo (noroeste do Rio Grande do Sul), também foi constatado uma queda nos valores do índice a partir de agosto também. Esta queda do NDVI pode estar relacionada com

temperaturas mais baixas (e a possível ocorrência de geadas) no final da fase vegetativa e início de florescimento, entre julho e agosto ([Junges et. al., 2007](#)).

5.1.2. *Enhanced Vegetation Index (EVI)*

Na **Figura 16**, é possível conferir o conjunto de resultados de EVI mensais, obtidos para cada uma das propriedades das safras de cevada entre 2015 e 2020, no Rio Grande do Sul.

Figura 16. EVI mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.



Os resultados obtidos para o EVI ficaram entre a faixa de 0,1 e 0,9. A tendência temporal do EVI foi similar à do NVDI. Ambos os índices medem a presença da vegetação em determinado local, através da quantificação do verde. Porém, o EVI corrige desvios, causados pela influência atmosférica e pela cobertura superior de florestas densas (USGS, 2018). Esta correção explica os valores mais baixos obtidos, quando comparamos com os resultados de NDVI.

Devido ao comportamento mais suave do EVI, nos anos de 2015 e 2016, os resultados cresceram de forma menos intensa entre maio e agosto, variando inicialmente entre 0,3 e chegando em 0,5. A partir de setembro, a EVI começou a cair até a data da colheita em novembro, atingindo valores mínimos de 0,2 e 0,3. A taxa do aumento do EVI até os valores máximos em agosto foi menor em 2015 do que em 2016. Já a taxa de redução do índice entre agosto e o final da safra foi maior em 2015 e menor em 2016.

Em 2017 houve um crescimento dos valores de EVI entre maio e junho, mês que foram obtidos os valores máximos neste ano. Nos três meses subsequentes (julho, agosto e setembro), os resultados mantiveram-se estáveis com pouca variação entre si, por volta de 0,4. A partir de setembro, em outubro e novembro, como nos anos anteriores, os valores de EVI reduziram, a valores inferiores à 0,2.

Para os anos de 2018, 2019 e 2020, a variação entre os meses foi maior, sendo agosto o mês com os valores máximos para todos os anos. A média neste mês ficou na faixa entre 0,5 e 0,6. A partir de setembro, como observado nos anos anteriores, houve uma redução do EVI até valores de 0,2 em novembro, salvo ao ano de 2018, que apresentou valores em torno de 0,3.

Na **Tabela 3** abaixo, é possível conferir a média, desvio padrão e valores mínimo e máximo do EVI para cada um dos meses analisados entre 2015 e 2020.

Tabela 3. Resultados de EVI para as safras entre 2015 e 2020.

EVI	2015						
	Maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,39	0,44	0,47	0,47	0,38	0,29	0,27
Desvio Padrão	0,12	0,16	0,13	0,11	0,12	0,09	0,10
Mínimo	0,12	0,15	0,17	0,16	0,11	0,16	0,13
Máximo	0,82	0,70	0,77	0,77	0,85	0,64	0,63
	2016						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,33	0,35	0,46	0,50	0,46	0,37	0,30
Desvio Padrão	0,10	0,12	0,13	0,10	0,12	0,12	0,12
Mínimo	0,14	0,08	0,17	0,08	0,09	0,17	0,13
Máximo	0,58	0,72	0,83	0,75	0,73	0,71	0,60
	2017						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,33	0,45	0,38	0,40	0,39	0,28	0,26
Desvio Padrão	0,11	0,12	0,09	0,10	0,10	0,10	0,14
Mínimo	0,15	0,15	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
Máximo	0,55	0,73	0,66	0,70	0,68	0,58	0,74
	2018						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,32	0,39	0,48	0,56	0,52	0,52	0,32
Desvio Padrão	0,11	0,16	0,13	0,12	0,15	0,15	0,15
Mínimo	0,15	0,11	0,17	0,24	0,16	0,16	0,18
Máximo	0,65	0,92	0,72	0,85	0,96	0,96	0,71
	2019						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,33	0,38	0,39	0,60	0,53	0,31	0,22
Desvio Padrão	0,12	0,15	0,14	0,13	0,11	0,12	0,07
Mínimo	0,11	0,16	0,06	0,19	0,15	0,12	0,12
Máximo	0,81	0,65	0,87	0,86	0,73	0,75	0,60
	2020						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,24	0,32	0,45	0,54	0,48	0,30	0,22
Desvio Padrão	0,09	0,16	0,13	0,12	0,10	0,10	0,09
Mínimo	0,12	0,09	0,13	0,17	0,22	0,11	0,11
Máximo	0,65	0,71	0,73	0,79	0,67	0,59	0,56

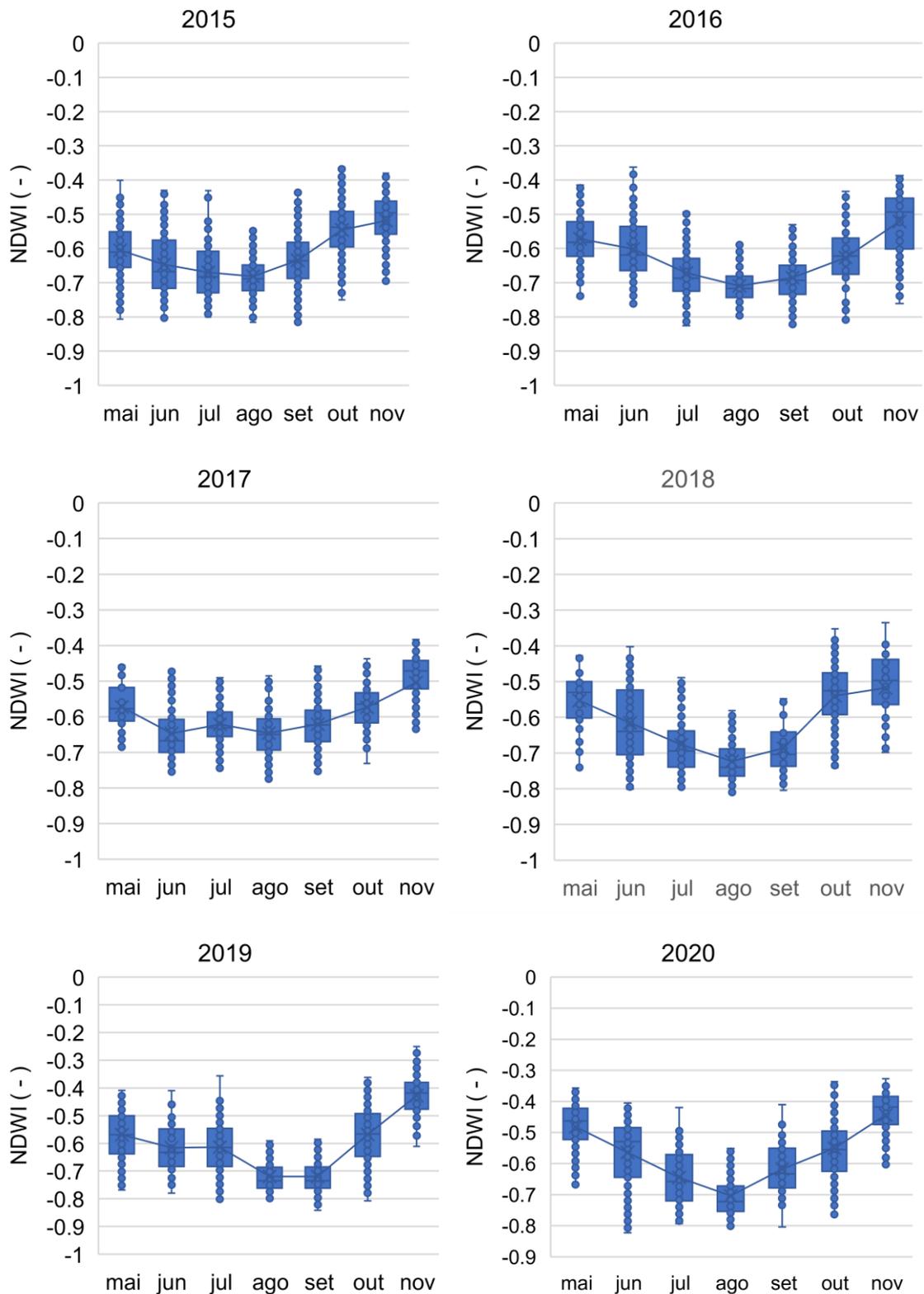
O comportamento do EVI seguiu a tendência dos valores encontrados de NDVI para cada um dos meses analisados. [Valencia \(2020\)](#) também comparou índices de vegetação entre si para as culturas de milho, arroz e soja, entre 2017 e 2019 no estado de São Paulo. Foi encontrada uma redução entre 0,10 e 0,15, quando comparados os valores de NDVI com os resultados de EVI. Esta redução ocorreu para valores menores que 0,85 para o NDVI. Para o cultivo de cevada, neste trabalho, obteve-se uma variação de 0,10 a 0,20 entre os resultados entre NDVI e EVI. Além disso, [Junges et. al. \(2007\)](#) analisaram o comportamento do EVI para cereais de inverno na mesma área de estudo, encontrando os maiores valores no quarto mês de cultivo e uma variação negativa média de 0,2 em

relação aos valores obtidos para NDVI no mesmo tempo e para mesma cultura, coincidindo com os resultados de EVI encontrados neste estudo.

5.1.3. *Normalized Difference Water Index (NDWI)*

Na **Figura 17**, é possível conferir o conjunto de resultados de NDWI mensais, obtidos para cada uma das propriedades das safras de cevada entre 2015 e 2020, no Rio Grande do Sul.

Figura 17. NDWI mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.



Para as áreas analisadas e período de estudo, foram obtidos valores de NDWI negativos. No período de semeadura e de colheita foram os meses que

apresentaram os maiores valores em módulo, entre -0,4 a -0,6 em maio (exceto em 2020, que apresentou ocorrência de valores próximos a -0,4) e na faixa de -0,5 a 0,4 em novembro. Nos meses intermediários da safra, quando ocorre a maior atividade metabólica e fotossintética do cultivo, o NDWI apresentou os menores valores, por volta de -0,7 e -0,8 em agosto. Pode-se relacionar estes resultados com a detecção de superfícies, onde ocorre acúmulo de água, pelos sensores. Assim, é possível relacionar estes valores maiores no início e final da safra com a possibilidade da maior ocorrência de solo exposto, onde pode formar mais locais com acúmulo de água. Quando comparados os valores de meses intermediário da safra, período em que o estágio de desenvolvimento das plantações é maior, são observados valores menores de NDWI, devido à diminuição da área de solo exposto, por causa do desenvolvimento e taxa de cobertura das lavouras de cevada. Na **Tabela 4**, é possível conferir a média, desvio padrão e valores mínimo e máximo do NDWI para cada um dos meses analisados entre 2015 e 2020.

Tabela 4. Resultados de NDWI para as safras entre 2015 e 2020.

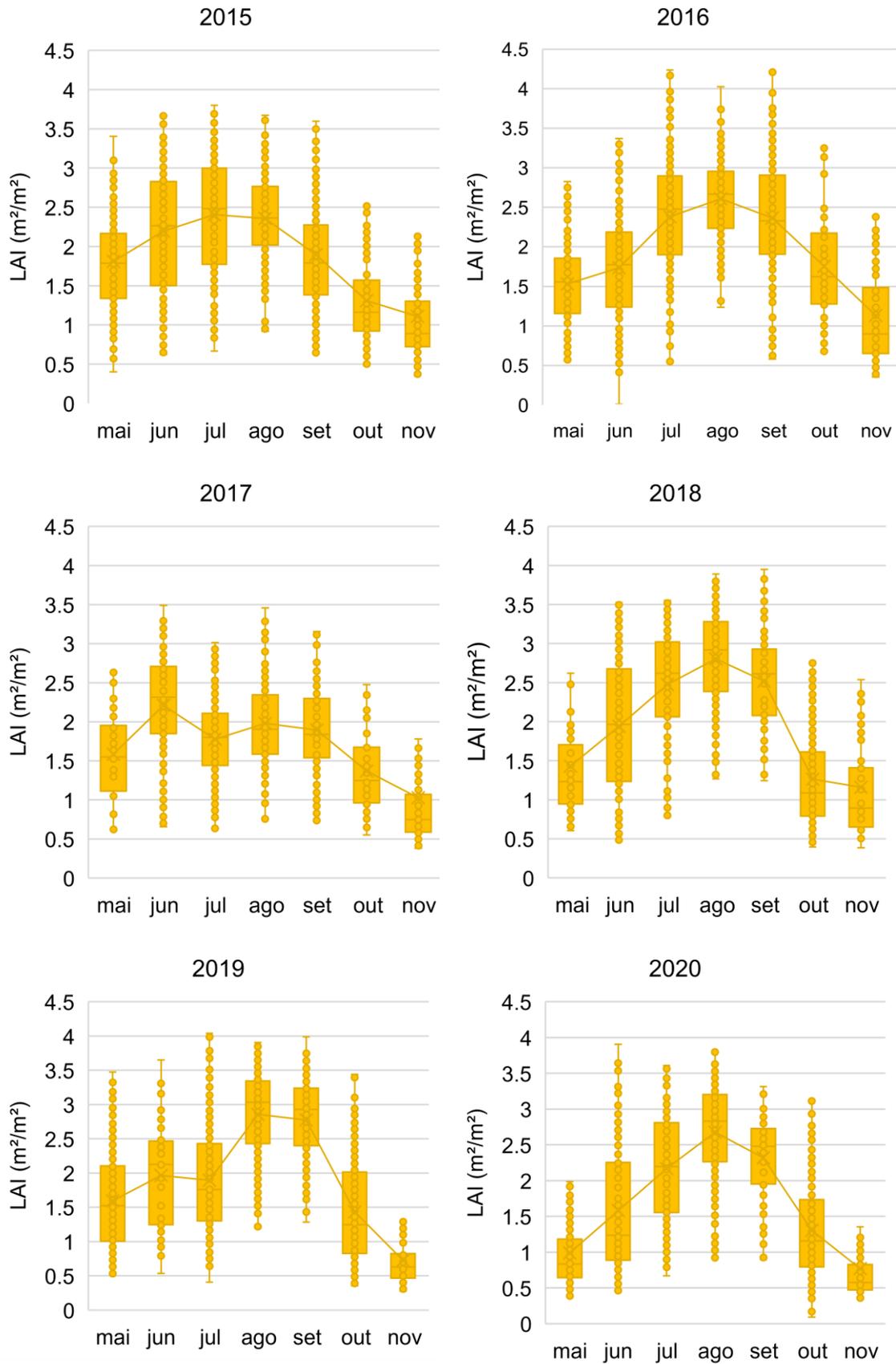
NDWI	2015						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	-0,60	-0,65	-0,67	-0,68	-0,63	-0,55	-0,52
Desvio Padrão	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08
Mínimo	-0,81	-0,80	-0,80	-0,82	-0,82	-0,75	-0,77
Máximo	-0,41	-0,43	-0,43	-0,12	-0,43	-0,32	-0,38
	2016						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	-0,57	-0,60	-0,67	-0,71	-0,68	-0,63	-0,52
Desvio Padrão	0,08	0,09	0,07	0,05	0,08	0,08	0,09
Mínimo	-0,80	-0,76	-0,83	-0,84	-0,86	-0,81	-0,76
Máximo	-0,41	-0,05	-0,41	-0,44	-0,26	-0,43	-0,39
	2017						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	-0,57	-0,65	-0,62	-0,65	-0,62	-0,57	-0,50
Desvio Padrão	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09
Mínimo	-0,68	-0,75	-0,74	-0,77	-0,76	-0,79	-0,82
Máximo	-0,46	-0,45	-0,45	-0,47	-0,44	-0,44	-0,38
	2018						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	-0,55	-0,61	-0,68	-0,72	-0,69	-0,54	-0,52
Desvio Padrão	0,08	0,10	0,08	0,06	0,09	0,08	0,10
Mínimo	-0,74	-0,80	-0,79	-0,81	-0,80	-0,81	-0,78
Máximo	-0,43	-0,40	-0,44	-0,47	-0,36	-0,27	-0,33
	2019						
	Maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	-0,57	-0,61	-0,61	-0,72	-0,72	-0,57	-0,43
Desvio Padrão	0,08	0,08	0,09	0,06	0,07	0,09	0,09
Mínimo	-0,77	-0,78	-0,80	-0,80	-0,84	-0,81	-0,74
Máximo	-0,41	-0,41	-0,36	-0,46	-0,44	-0,36	-0,21
	2020						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	-0,48	-0,57	-0,64	-0,70	-0,62	-0,55	-0,44
Desvio Padrão	0,08	0,10	0,09	0,07	0,08	0,11	0,09
Mínimo	-0,80	-0,82	-0,79	-0,80	-0,80	-0,76	-0,75
Máximo	-0,36	-0,40	-0,42	-0,42	-0,41	-0,09	-0,33

Segundo [Sánchez-Román \(2018\)](#), O NDWI não apresenta uma correlação direta com a produtividade de milho, cultivo analisado no estado de São Paulo. Ele afirma que o NDWI apresenta uma correlação mais significativa com secas meteorológicas. [Couto Júnior et. al. \(2012\)](#) avaliaram séries temporais de índices espectrais para caracterização fenológica do algodão. Foi realizado o estudo no estado da Bahia, e referente ao NDWI foi encontra uma relação mais significativa com as condições ambientais e disponibilidade hídrica daquele estudo.

5.1.4. Leaf Area Index (LAI)

Na **Figura 18**, é possível conferir o conjunto de resultados de LAI mensal em m^2/m^2 , obtidos para cada uma das propriedades das safras de cevada entre 2015 e 2020, no Rio Grande do Sul.

Figura 18. LAI mensal em m^2/m^2 (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.



O comportamento do LAI, durante os meses do cultivo da cevada, acompanhou as fases de desenvolvimento vegetal. Para o ano de 2015, a taxa de aumento dos resultados mensais ocorreu de maneira mais suave, até atingir valores máximos em julho, variando de 1,5 a 3,0 neste período. Em agosto houve uma leve redução, mantendo-se basicamente constante entre estes dois meses, com valores médios de 2,5. A partir de setembro, a redução foi mais acentuada, representando a perda da quantidade vegetal nesta etapa alinhado com o início do período da colheita, quando foram obtidos valores abaixo de 1,0. Para o ano de 2016, o LAI apresentou um comportamento bem semelhante a 2015, exceto ao mês quando foram obtidos os valores máximos, que foi agosto para 2016. Já em 2017, durante os meses do cultivo, os resultados de LAI foram mais constantes, variando menos entre si, ficando majoritariamente entre 1,0 e 2,5, exceto em junho, quando foram observados os valores máximos, com ocorrências acima de 2,5, e em novembro com valores abaixo de 1,0. No ano de 2018, a taxa de crescimento de maio até agosto, mês com maiores valores de LAI, foi aproximadamente linear, começado numa faixa inicial de 1,0 a 1,5 e máxima de 2,5 a 3,5. Após setembro, houve uma redução mais acentuada até outubro e novembro, meses de final de ciclo, cuja maioria dos resultados ficaram abaixo de 1,5. Em 2019, a tendência dos valores de LAI até chegar ao mês com maiores valores (agosto) comportou-se aproximadamente de forma constante, com leve aumento de maio, cujos valores ficaram na faixa entre 1,0 e 2,0, para julho, mês quando o LAI se manteve entre 1,5 e 2,5. Em julho os resultados foram aproximadamente constantes, quando comparados ao mês anterior. Já em agosto, os valores obtidos foram maiores que 2,5 em sua maioria. A partir de setembro, a taxa de redução foi aproximadamente linear entre os meses, passando para o intervalo de 1,5 a 2,5 em outubro e menores que 1,0 em novembro, no final da safra. Por fim o ano de 2020 assemelhou-se com a tendência de resultados obtidos para 2018. A única diferença mais relevante a pontuar -se são os valores referentes ao mês de outubro, que apresentaram um desvio padrão maior e média acima de 1,0 quando comparamos ao mês de outubro, cuja média foi aproximadamente 1,0. Na **Tabela 5** abaixo, é possível conferir a média, desvio padrão e valores mínimo e máximo do LAI para cada um dos meses analisados entre 2015 e 2020.

Tabela 5. Resultados de LAI em m²/m² para as safras entre 2015 e 2020.

LAI	2015						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	1,81	2,19	2,41	2,35	1,89	1,31	1,11
Desvio Padrão	0,59	0,78	0,70	0,57	0,70	0,53	0,57
Mínimo	0,40	0,62	0,67	0,13	0,63	0,48	0,35
Máximo	3,50	3,67	3,80	3,89	3,67	3,04	3,16
	2016						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	1,53	1,74	2,38	2,60	2,36	1,76	1,13
Desvio Padrão	0,54	0,63	0,69	0,55	0,72	0,70	0,60
Mínimo	0,56	0,01	0,54	0,35	0,36	0,66	0,35
Máximo	3,30	3,37	4,24	4,04	4,21	3,64	2,97
	2017						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	1,57	2,21	1,78	1,98	1,89	1,37	1,03
Desvio Padrão	0,55	0,66	0,47	0,56	0,54	0,55	0,72
Mínimo	0,62	0,66	0,63	0,75	0,73	0,55	0,38
Máximo	2,63	3,49	3,01	3,46	3,15	3,26	3,61
	2018						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	1,43	1,94	2,48	2,80	2,52	1,26	1,16
Desvio Padrão	0,61	0,87	0,72	0,61	0,74	0,61	0,72
Mínimo	0,61	0,48	0,58	0,89	0,53	0,40	0,37
Máximo	3,20	3,53	3,55	3,89	4,34	3,49	3,43
	2019						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	1,59	1,97	1,90	2,86	2,78	1,43	0,72
Desvio Padrão	0,67	0,78	0,75	0,63	0,64	0,72	0,38
Mínimo	0,52	0,54	0,41	0,73	0,56	0,35	0,27
Máximo	3,47	3,65	4,04	3,91	4,00	3,44	2,82
	2020						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	0,99	1,58	2,17	2,68	2,32	1,31	0,77
Desvio Padrão	0,49	0,89	0,73	0,67	0,55	0,65	0,50
Mínimo	0,39	0,45	0,67	0,54	0,89	0,09	0,35
Máximo	3,56	3,94	3,61	3,81	3,31	3,15	3,80

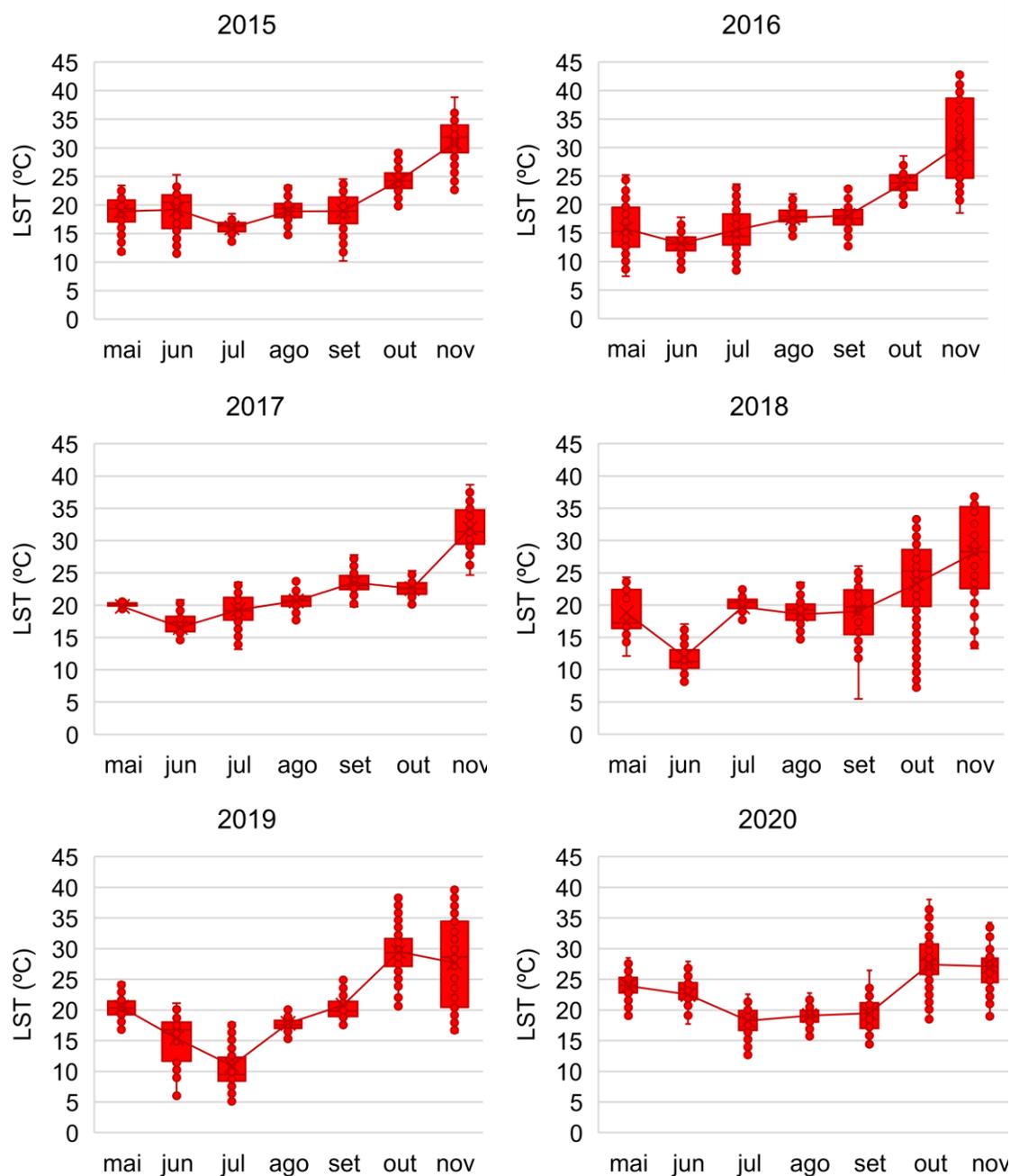
[Santos et. al. \(2015\)](#) observaram a variação do LAI para o cultivo de milho no estado do Alagoas. Os maiores valores foram observados após 45-60 dias da semeadura, ou seja, em períodos mais cedo da safra quando comparados com este estudo para o caso da cevada. Segundo [González-Sanpedro et. al. \(2008\)](#), que analisaram diversas culturas e seus respectivos valores, foi observado que para culturas de verão e irrigadas, foram obtidos resultados maiores, chegando a valores de 6. Comparando com a cevada, que é uma cultura de inverno, os resultados de LAI apresentam valores menores, não ultrapassando de 4,5. [Wenger et. al. \(2021\)](#) avaliaram a variabilidade da biomassa e do LAI da cevada em sistemas agroflorestais na Alemanha, por sensoriamento remoto, encontrando valores entre 2,3 e 7,4 m²/m², cuja média foi de 4,2 m²/m². De acordo com [Minella \(1999\)](#), a produção mundial de cevada é concentrada em

locais de clima temperado, sendo que a América do Sul contribui menos de 1%, considerando o cenário global, onde o clima não é tão favorável para o cultivo de cevada. Desta forma, poderiam ser relacionados com os resultados encontrados por [Wenger et. al. \(2021\)](#), que foram mais altos para o cenário da Alemanha, quando comparados com os valores de LAI encontrados neste estudo para o sul do Brasil.

5.1.5. Temperatura da Superfície

Na **Figura 19**, é possível conferir o conjunto de resultados de LST mensais, obtidos para cada uma das propriedades das safras de cevada entre 2015 e 2020, no Rio Grande do Sul.

Figura 19. LST mensal (entre maio e novembro) do cultivo da cevada para as safras de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.



Durante o desenvolvimento do cultivo da cevada, é importante pontuar principalmente dois fatores referente aos valores de LST: a variabilidade dos

resultados em cada um dos meses e a comparação da temperatura da superfície terrestre obtida com a temperatura da atmosfera em cada momento.

É perceptível que a temperatura da superfície terrestre se manteve de forma constante e com baixa variabilidade entre os meses de maio e setembro, com valores dentro de um intervalo de 15 a 20 °C. Pontua-se aqui algumas exceções como junho de 2018, quando a média mensal se aproximou de 10 °C, e julho de 2019, cuja temperatura média mensal ficou abaixo de 10 °C. Outro ponto de diferenciação foram os dois primeiros meses da safra de 2020, quando as temperaturas ficaram mais elevadas. As médias mensais, tanto de maio como junho de 2020, aproximaram-se de 25 °C, sendo que uma parcela considerável dos resultados obtidos ficou 25 e 30 °C. A partir de setembro, a temperatura da superfície terrestre apresentou uma tendência de aumento para todos os anos. No mês de outubro, as médias se aproximaram dos 25 °C, como em 2015, 2016 e 2018. Para 2017 a média mensal de outubro foi inferior a este patamar, já em 2019 e 2020 a média mensal ultrapassou os 25 °C, aproximando-se dos 30 °C. Por fim em novembro, no final da safra, os resultados de temperatura da superfície foram os mais elevados em todos os anos analisados, variando entre 20 e 35 °C, exceto em 2016 que uma parcela dos valores ultrapassou 40 °C.

É importante analisar a variabilidade dos resultados obtidos para cada mês durante o ciclo da cevada. As maiores variações ocorrem no início e no final da safra. Nos primeiros meses, mesmo com o cultivo estando em suas fases iniciais de desenvolvimento, a variação é menor quando comparada com o final da safra, pois como é período de outono e inverno, as temperaturas são mais baixas. Outro ponto que impacta para que nesses meses seja observado uma variação menor entre os valores de temperatura da superfície terrestre, é o estágio de desenvolvimento mais avançado da cultura, que acaba dificultando a troca térmica entre o solo e a atmosfera.

Na **Tabela 6**, é possível conferir a média, desvio padrão e valores mínimo e máximo do LST para cada um dos meses analisados entre 2015 e 2020.

Tabela 6. Resultados de LST em °C para as safras entre 2015 e 2020.

LST	2015						
	Maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	18,90	19,15	15,99	18,87	18,90	24,21	30,84
Desvio Padrão	2,43	3,49	1,35	2,18	2,71	2,34	4,50
Mínimo	10,51	11,45	10,84	8,45	10,17	13,93	2,51
Máximo	23,41	25,26	18,44	23,89	24,51	29,86	38,86
	2016						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	15,74	13,17	15,56	17,61	18,06	23,75	30,44
Desvio Padrão	4,02	2,03	3,41	2,16	3,04	1,95	7,24
Mínimo	7,34	5,31	8,29	10,14	7,50	19,79	18,54
Máximo	25,19	19,87	23,60	21,98	28,48	30,20	43,03
	2017						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	20,01	16,51	19,28	20,63	23,51	22,46	31,88
Desvio Padrão	0,97	2,84	2,18	1,38	1,83	1,31	3,33
Mínimo	14,13	9,82	13,16	16,64	16,46	18,31	24,66
Máximo	21,81	22,10	23,52	24,66	28,84	25,32	38,66
	2018						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	18,92	11,94	19,73	18,57	19,13	23,33	27,24
Desvio Padrão	3,25	2,52	2,59	2,60	3,97	6,50	8,13
Mínimo	14,26	7,99	9,41	8,42	11,76	-1,48	-4,35
Máximo	24,30	20,95	24,72	24,26	26,06	33,32	36,82
	2019						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	20,45	15,53	10,91	17,80	20,75	29,52	27,64
Desvio Padrão	1,56	3,61	3,81	1,58	2,73	3,31	7,31
Mínimo	16,70	5,93	4,97	8,61	17,59	17,19	16,30
Máximo	25,10	21,13	21,13	26,02	32,04	38,41	39,63
	2020						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro
Média	23,92	22,55	18,24	19,09	19,34	27,39	27,16
Desvio Padrão	2,01	3,21	2,34	1,44	2,57	5,17	4,34
Mínimo	16,76	10,20	10,91	15,73	14,41	-2,34	14,21
Máximo	28,48	27,92	22,55	24,40	26,45	38,01	39,00

Prina & Trentin (2016) avaliaram a LST para diferentes usos da terra no Rio Grande do Sul. Referente a lavouras, 83,5% dos resultados ficaram entre 23 e 26°C. Neste estudo foram utilizadas imagens do Landsat 8 referentes ao mês de fevereiro, o que poderia explicar o desvio positivo encontrado neste estudo, cujas médias da temperatura foram mais baixas neste presente trabalho, já que foram analisadas em meses mais frios. Referente à classe de solo exposto, 44,9% dos resultados obtidos ficaram na faixa superior aos 26 °C. Existe uma relação com os valores de LST encontrados para o mês de novembro, quando há uma maior ocorrência de áreas com solo exposto, devido à colheita da cevada. As médias mensais para novembro variaram entre 27,16 e 31,88 °C.

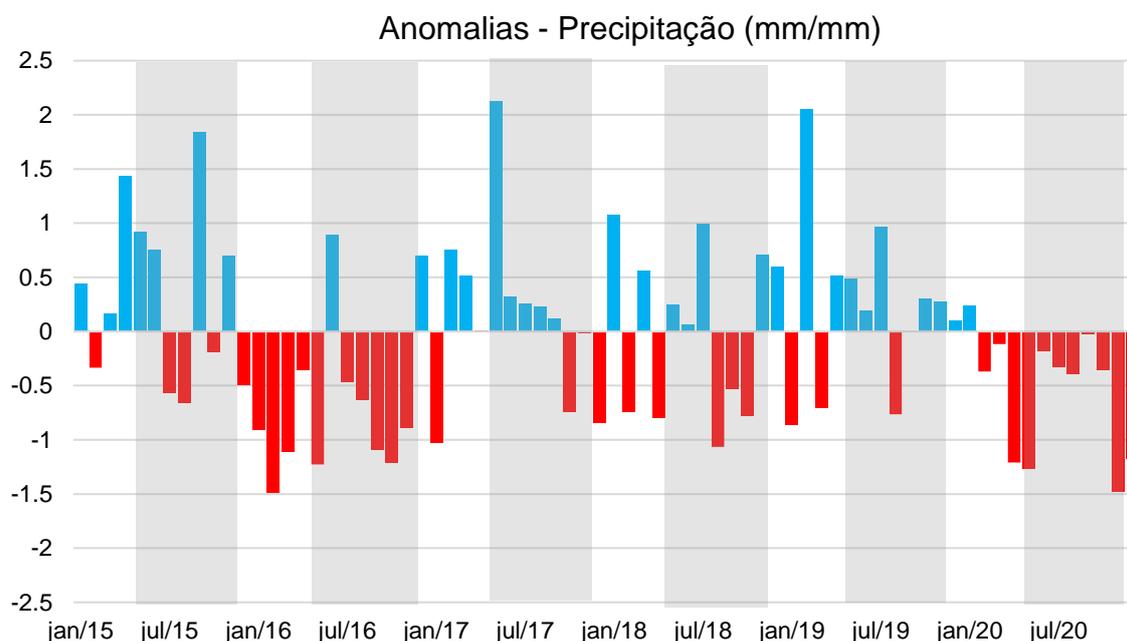
5.2. ANOMALIAS DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Serão descritos os cenários referentes aos desvios de precipitação, temperatura do ar e ONI. Desta forma, podem ser buscadas correlações entre os fatores ambientais e o comportamento sazonal da cevada durante o cultivo.

5.2.1. Precipitação

Os desvios mensais de precipitação podem ser observados na **Figura 20** para o período de 2015 a 2020. As anomalias positivas, ou seja, meses em que a precipitação apresentou maiores valores em relação à média mensal histórica, foram sinalizadas em azul. Já os meses quando a precipitação foi menor que a média mensal histórica, anomalias negativas, foram assinaladas de vermelho. Além disso, foi dado destaque (áreas em cinza) para os períodos da safra da cevada, ocorrido entre os meses de maio e novembro de cada um dos anos.

Figura 20. Anomalias de precipitação (mm/mm) para o período de 2015 a 2020, em relação ao período base entre 1990 e 2020.



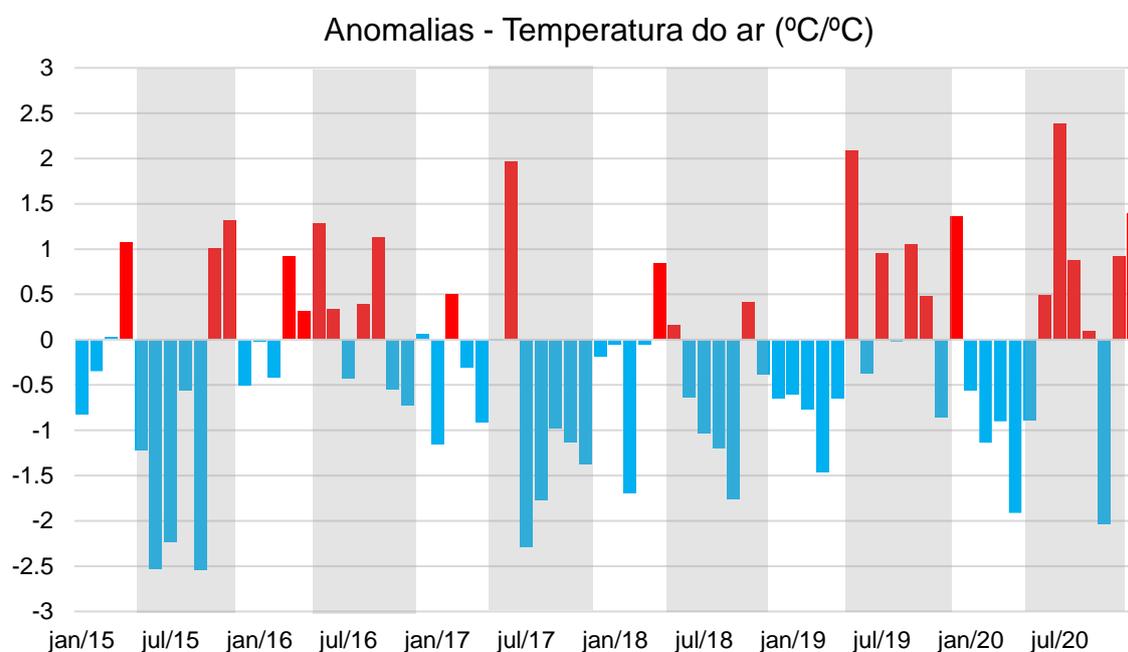
De modo geral, na safra de 2015, foram observados mais desvios positivos, indicando um período mais chuvoso. Dentre as anomalias positivas, setembro foi o mês com maior variação. Já no ano de 2016, o cultivo da cevada ocorreu em meses mais secos, exceto em junho que apresentou variações positivas. Em 2017, o início da safra apresentou um cenário mais úmido, com destaque para o mês de maio, cujo desvio positivo foi o maior dentro do período

em análise. Até setembro foram registrados valores positivos, sendo que outubro foi um mês com desvio negativo considerável. Nos três primeiros meses da safra de 2018, foi observado um cenário mais chuvoso e nos três meses subsequentes foram registrados desvios negativos. O último mês de colheita teve registros positivos, indicando um cenário mais úmido. Em 2019, a safra foi cultivada em condições mais chuvosas, salvo ao mês de agosto que apresentou desvios negativos. Por fim em 2020, durante todo o período de plantio foi constatado um cenário de estiagem em todos os meses.

5.2.2. Temperatura do ar

Os desvios mensais da temperatura do ar podem ser observados na **Figura 21** para o período de 2015 a 2020. Os desvios positivos, quando a temperatura ficou acima da média mensal histórica, estão sinalizadas de vermelho, ou seja, períodos mais quentes. Já os meses quando a temperatura média foi menor, caracterizando-se como anomalias negativas, foram assinaladas em azul. Além disso, foi dado destaque para os períodos da safra da cevada, ocorrido entre os meses de maio e novembro de cada um dos anos.

Figura 21. Anomalias de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$) para o período de 2015 a 2020, em relação ao período base entre 1990 e 2020.



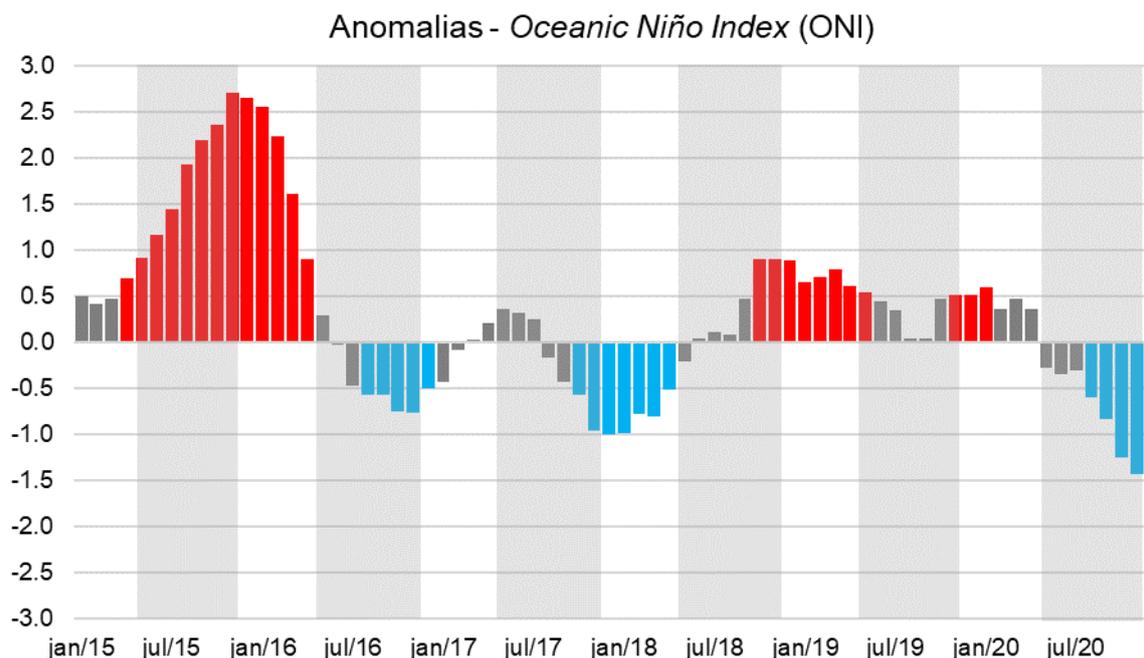
Em 2015, as anomalias negativas caracterizam um período mais frio quando comparado à série histórica, apresentando desvios abaixo de -2 em

junho, julho e setembro. Já nos últimos dois meses de safra foram constatadas temperaturas mais elevadas. Em 2016, as temperaturas foram mais amenas, apresentando desvios inferiores a 1,5. Majoritariamente neste ano foram constatadas temperaturas maiores que a média histórica mensal. O ano de 2017 foi um período mais frio, apresentando desvios positivos em junho apenas. No restante dos outros meses foram registrados valores negativos. No período da safra de 2018 foi um cenário com mais temperaturas negativas, sendo que os meses mais quentes (maio e outubro) tiveram resultados para as anomalias positivas inferiores a 0,5. Já em 2019, a safra ocorreu em meses que foram mais quentes, apresentando desvios positivos (maio, julho, setembro e outubro), cujos valores foram superiores a 1, maiores que os negativos (inferiores a -1 em módulo), caracterizando-se por ser um ano mais quente. Por fim em 2020, foram constatados dois meses com desvios altos superiores a 2 em módulo, julho com desvio positivo e outubro com negativos.

5.2.3. Ocean Niño Index (ONI)

Na **Figura 22** é possível visualizar as anomalias, referentes aos eventos de *El Niño* e *La Niña* entre 2015 e 2020. Foi dado destaque para os meses que compõe o período da safra de cevada (de maio a novembro). Para uma anomalia ser considerada uma ocorrência de *El Niño* ou *La Niña*, o desvio deve ser maior que +0,5 °C e menor que -0,5 °C respectivamente, segundo a classificação utilizada pelo *Climate Prediction Center*, do Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos. Os desvios positivos observados neste período foram assinalados de vermelho, representando a ocorrência de *El Niño* (momento em que a temperatura das águas do Oceano Pacífico Equatorial está maior em relação à temperatura média dos últimos 30 anos), e os desvios em azul representam a ocorrência de eventos de *La Niña*, momento em que a temperatura das águas é menor que a média dos últimos 30 anos.

Figura 22. Anomalias do ONI para o período de 2015 a 2020, em relação ao período base entre 1990 e 2020.



Durante o período analisado, entre 2015 e 2020, foram observadas duas ocorrências do *El Niño*. A mais expressiva delas foi entre os meses de abril de 2015 até abril de 2016. Nos meses de novembro, dezembro de 2015 e janeiro de 2016, o desvio chegou a ultrapassar 2,5 °C. Ao comparar este evento com a safra de cevada de 2015, nota-se que todo o ciclo ficou dentro do período de ocorrência do *El Niño*, com menores desvios nas fases iniciais, como +0,9 °C em maio, aumentando gradativamente até o final da safra, chegando a +2,7 °C de desvio em novembro, no mês da colheita da cevada.

O próximo evento de *El Niño* ocorreu entre os meses outubro de 2018 e maio de 2019. Esta segunda ocorrência foi mais amena, com o desvio máximo de +0,9 °C das temperaturas em outubro, novembro e dezembro de 2018. Comparando com o ciclo do cultivo de cevada, o evento coincidiu com os dois meses finais da safra de 2018, em outubro e novembro quando foram registradas as maiores anomalias, e no primeiro mês da safra de 2019, quando foi registrado um desvio de +0,6 °C.

Outro ponto a ser analisado são as ocorrências de *La Niña* no período de estudo. Assim como os eventos de *El Niño*, foram observados três momentos de *La Niña*: entre agosto e dezembro de 2016, entre outubro de 2017 e abril de 2018 e entre agosto e dezembro de 2020.

A primeira ocorrência em 2016 foi a que apresentou a menor intensidade, variando entre $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ no mês de novembro e $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em dezembro. Exceto aos três primeiros meses da safra de 2016 (maio, junho e julho), todo o restante do cultivo de cevada neste ano ocorreu em período de *La Niña*, com a colheita acontecendo no mês com maior desvio de temperatura.

O segundo evento de *La Niña* aconteceu entre os meses de outubro de 2017 e abril de 2018, variando de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ no último mês e $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em novembro e dezembro de 2017 e janeiro de 2018. Esta segunda ocorrência do *La Niña* coincidiu com os últimos dois meses da safra de 2017, sendo observados desvios de $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ em outubro e novembro, respectivamente.

Por último, a terceira ocorrência do *La Niña* também aconteceu entre os meses de agosto e dezembro, de 2020. Dentre os eventos observados, este último foi o que apresentou maior intensidade, chegando a desvios de $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ em novembro e dezembro, respectivamente. O menor desvio foi registrado em agosto com $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta última ocorrência foi simultânea com o período da safra de 2020, exceto os três primeiros meses cujos desvios registrados não se caracterizam como ocorrência de *La Niña*.

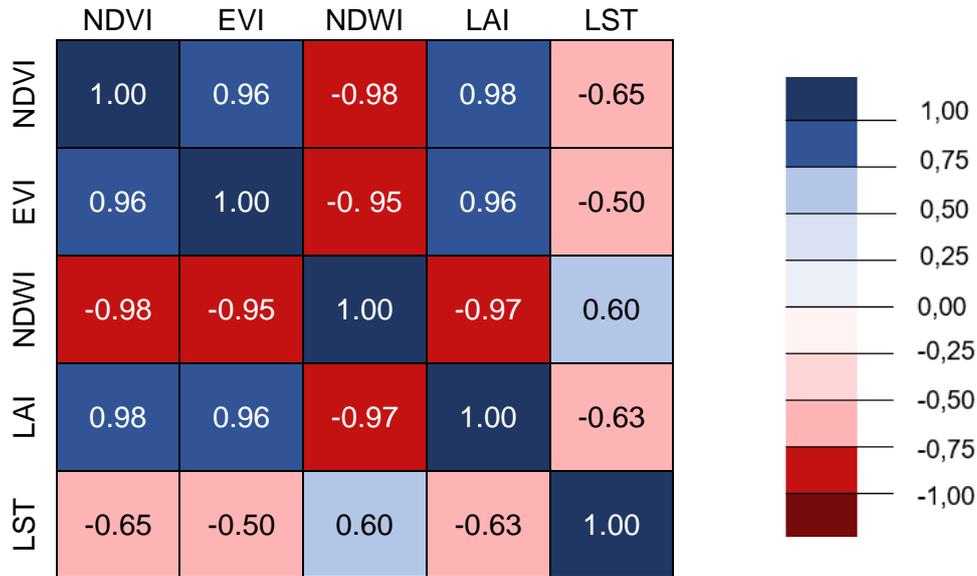
5.3. CORRELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

Serão apresentados os resultados encontrados para as correlações entre os índices espectrais e temperatura da superfície terrestre, representando o comportamento fenológico da cultura da cevada, com as variáveis e condições ambientais, obtidos por sensoriamento remoto.

5.3.1. Correlação entre os índices espectrais e temperatura da superfície

Foram calculados os coeficientes de Pearson entre os índices espectrais obtidos para as áreas de cultivo de cevada. A análise foi realizada para valores brutos de cada um dos índices, cujos valores comparados estão em escala mensal. Na **Figura 23** é possível conferir de forma resumida as correlações existentes entre os índices calculados, a partir do sensoriamento remoto.

Figura 23. Coeficientes de correlação de Pearson entre os índices espectrais e temperatura da superfície mensais para áreas de cultivo de cevada.



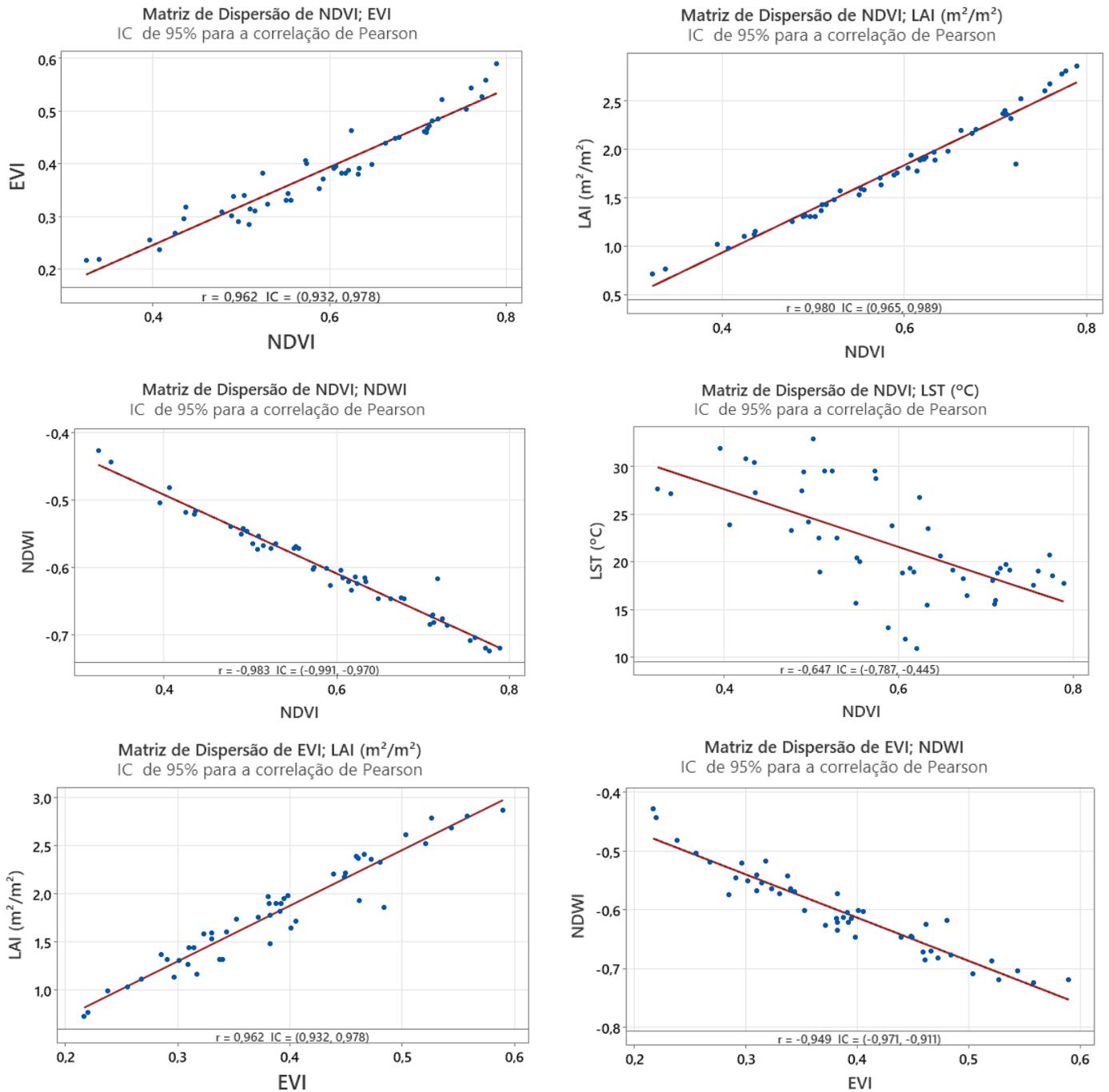
Dentre as variáveis analisadas, as maiores correlações diretamente proporcionais encontradas foram entre os índices de vegetação. Primeiramente, o NDVI e o LAI tiveram o maior resultado para o coeficiente de Pearson, chegando a um valor de 0,98, visto que o LAI foi calculado em função dos valores de NDVI. Após esta correlação, destacam-se a correlação do EVI com o LAI e do EVI com NDVI, que obtiveram de resultado para ambas as correlações.

Outro ponto de destaque foram as correlações indiretamente proporcionais do NDWI com índices de vegetação. Mais expressivamente citam-se as correlações com o NDVI e o LAI, cujo coeficiente de Pearson foi de -0,98 e -0,97, respectivamente. Além disso, entre o NDWI e EVI há forte correlação linear indireta, visto o valor de -0,95 para o coeficiente.

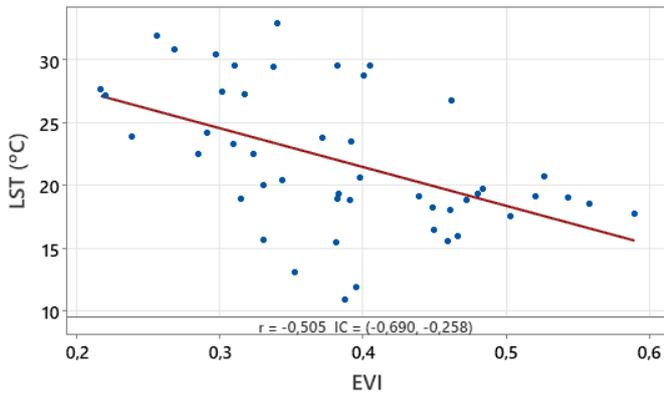
Por fim, as correlações da LST não são exprevissas, vistos os valores baixos em módulo encontrados para os coeficientes. O maior coeficiente encontrado em módulo encontrado foi referente à correlação com NDVI, porém obtendo-se apenas o valor de -0,65. Os outros resultados foram de -0,50, -0,63 e 0,60 para as correlações com EVI, LAI e NDWI respectivamente.

Na **Figura 24** estão dispostas as matrizes de dispersão, demonstrando de forma mais detalhada as correlações.

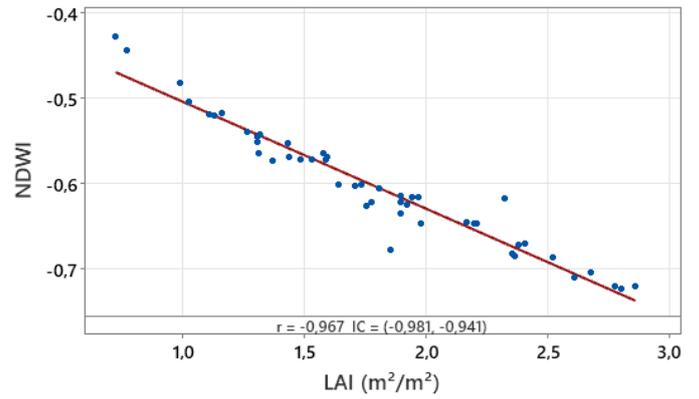
Figura 24. Matrizes de dispersão entre os índices espectrais e temperatura da superfície para áreas de cultivo de cevada.



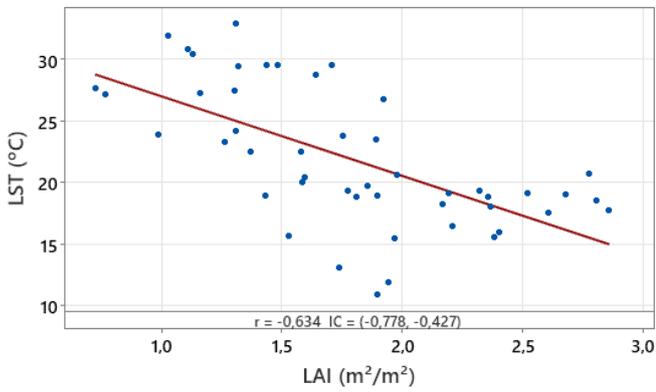
Matriz de Dispersão de EVI; LST (°C)
IC de 95% para a correlação de Pearson



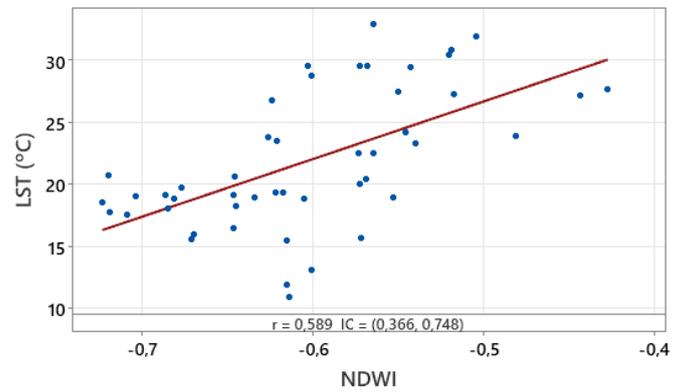
Matriz de Dispersão de LAI (m²/m²); NDWI
IC de 95% para a correlação de Pearson



Matriz de Dispersão de LAI (m²/m²); LST (°C)
IC de 95% para a correlação de Pearson



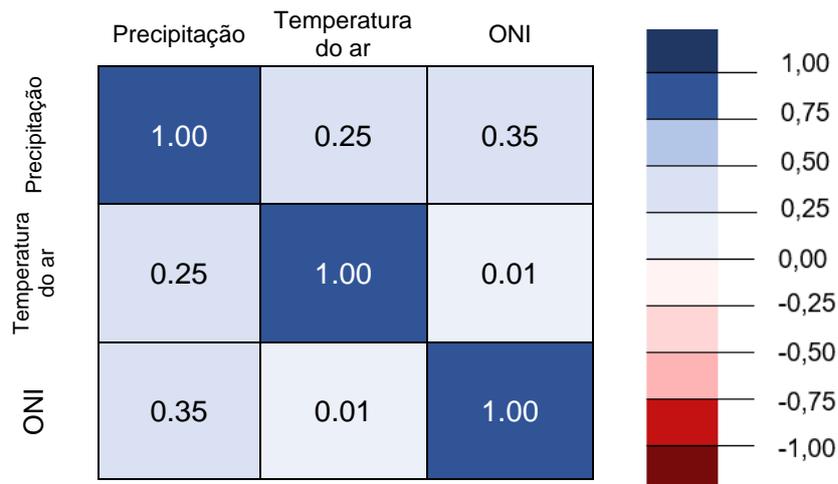
Matriz de Dispersão de NDWI; LST (°C)
IC de 95% para a correlação de Pearson



5.3.2. Correlação entre as condições ambientais

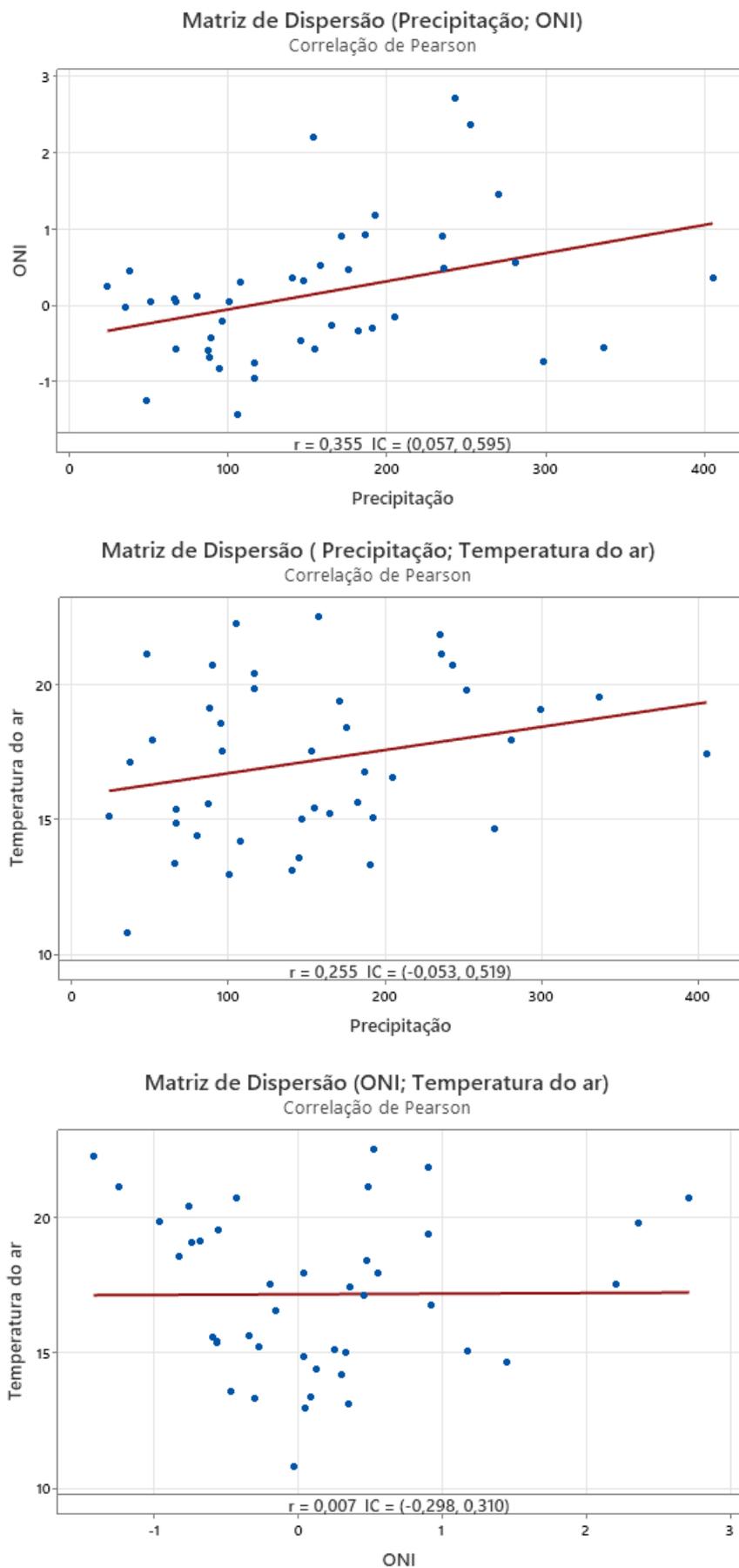
Na **Figura 25** estão dispostos os coeficientes de Pearson calculados para as variáveis elencadas, que descrevem as condições ambientais no local de estudo. Os dados de precipitação e temperatura do ar estão em escala mensal, assim como o ONI (índice referente à ocorrência de *El Niño* e *La Niña*).

Figura 25. Coeficientes de correlação de Pearson entre as condições ambientais.



A partir das correlações aplicadas, é possível inferir que as três variáveis analisadas são variáveis independentes entre si, visto que o maior coeficiente de Pearson encontrado foi de 0,35 entre a precipitação e o índice ONI. Importante pontuar que a ocorrência do *El Niño* ou *La Niña* interfere na precipitação, aumentando e diminuindo o regime de chuva, respectivamente, na região sul do Brasil (PUCHALSKI, 2000). Desta forma, como valores positivos do ONI indicam a presença de *El Niño*, ocasionando aumento das chuvas no sul do país, a correlação entre a precipitação e índice ONI é positiva. Em sequência, na **Figura 26**, estão dispostas as matrizes de dispersão, demonstrando de forma mais detalhada as correlações.

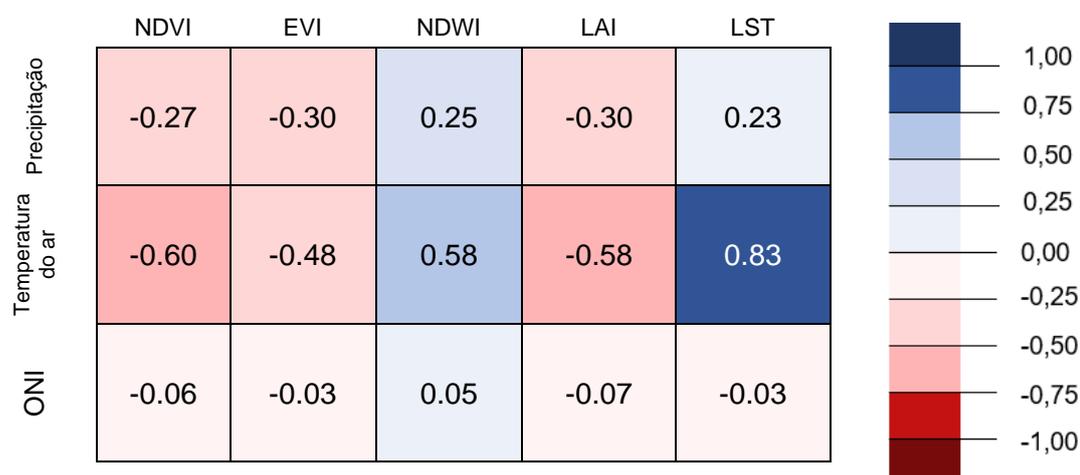
Figura 26. Matriz de dispersão entre as condições ambientais.



5.3.3. Correlação entre o padrão sazonal do cultivo da cevada e condições ambientais

Na **Figura 27** estão dispostos os coeficientes de Pearson calculados para as correlações entre os índices espectrais as áreas de cultivo de cevada e as variáveis ambientais analisadas. A análise foi realizada para valores brutos de cada um dos índices, cujos valores comparados estão em escala mensal. Os dados de precipitação e temperatura do ar também estão em escala mensal, assim como o ONI. Em sequência, na **Figura 28**, estão dispostas as matrizes de dispersão, demonstrando de forma mais detalhada as correlações.

Figura 27. Coeficientes de correlação de Pearson entre os índices espectrais mensais, temperatura da superfície e condições ambientais.

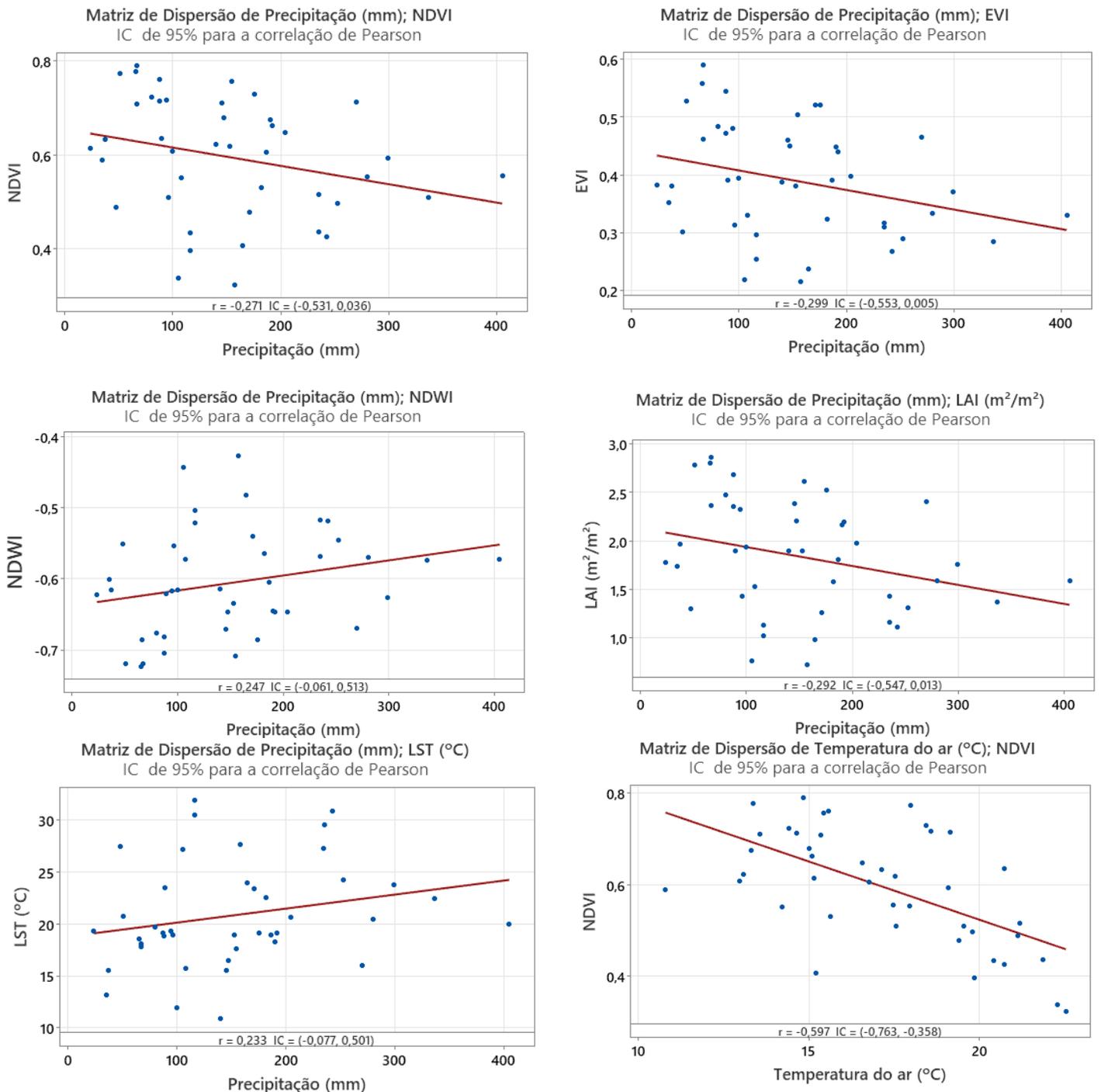


Diante do cenário apresentado, a maior correlação positiva existente ocorre entre a temperatura do ar e o índice LST. O coeficiente obtido foi de 0,83. A relação é bem considerável entre estas variáveis, visto que a temperatura do ar influencia diretamente na temperatura da superfície terrestre. Além disso, é importante considerar a resistência à troca térmica que a cobertura do solo oferece. Infere-se que isto seja um possível fator, que contribua para o coeficiente não assumir valores maiores para esta correlação. Para os índices de vegetação (NDVI, EVI e LAI) foram obtidos os seguintes valores para o coeficiente de Pearson nas correlações com LST, respectivamente: -0,60; -0,48 e -0,58. A relação entre a temperatura do ar e os índices de vegetação é inversamente proporcional, relacionando-se ao fato da cevada ser um cultivo de inverno. Assim, é possível inferir que em temperaturas menores, a taxa de

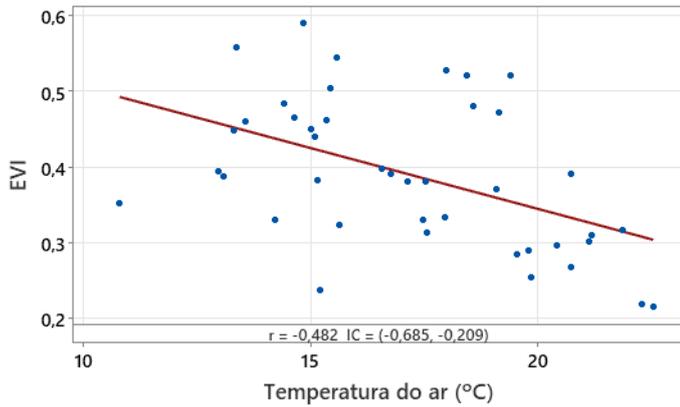
desenvolvimento e de atividade fotossintética é maior, demonstrado pelos valores mais altos obtidos para os índices espectrais.

Por fim, pode-se dizer que nem a precipitação e nem o índice ONI tiveram uma relação expressiva com os índices espectrais avaliados, vistos os resultados inferiores a 0,07 em módulo. Na **Figura 28** estão dispostas as matrizes de dispersão, demonstrando de forma mais detalhada as correlações.

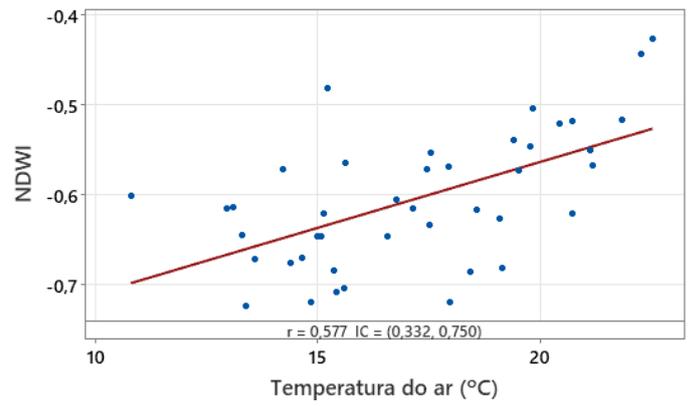
Figura 28. Matriz de dispersão os índices espectrais mensais, temperatura da superfície e condições ambientais.



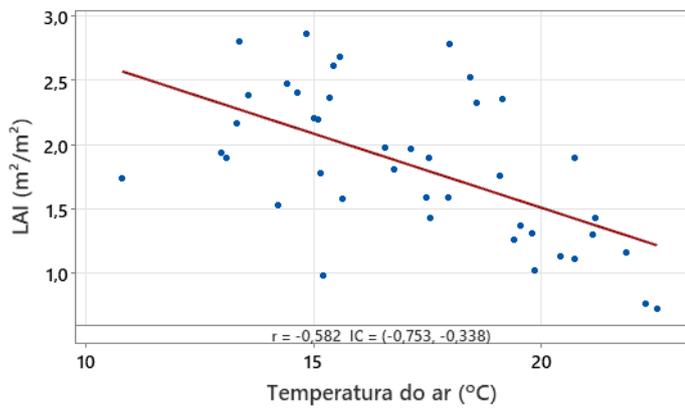
Matriz de Dispersão de Temperatura do ar (°C); EVI
IC de 95% para a correlação de Pearson



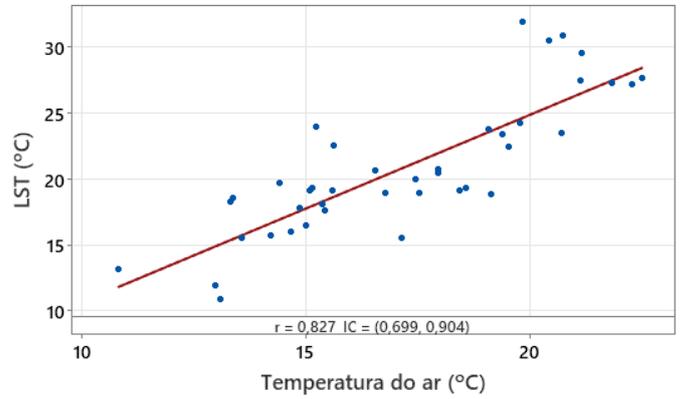
Matriz de Dispersão de Temperatura do ar (°C); NDWI
IC de 95% para a correlação de Pearson



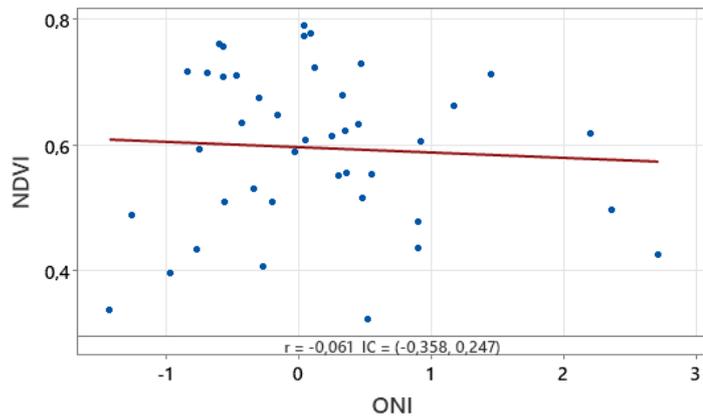
Matriz de Dispersão de Temperatura do ar (°C); LAI (m²/m²)
IC de 95% para a correlação de Pearson



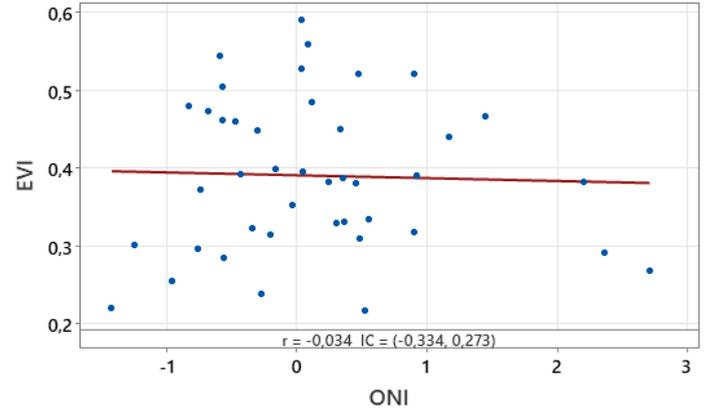
Matriz de Dispersão de Temperatura do ar (°C); LST (°C)
IC de 95% para a correlação de Pearson



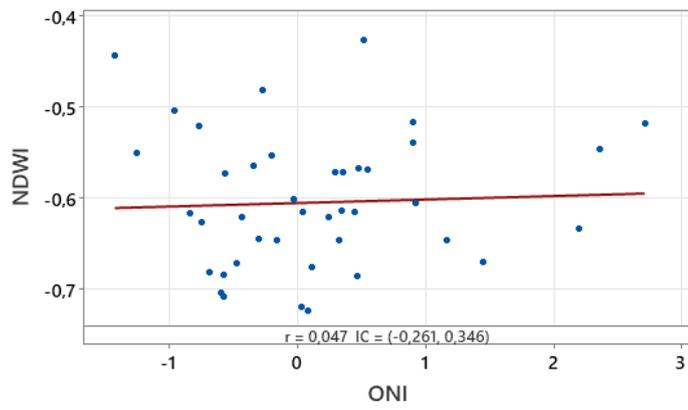
Matriz de Dispersão de ONI; NDVI
IC de 95% para a correlação de Pearson



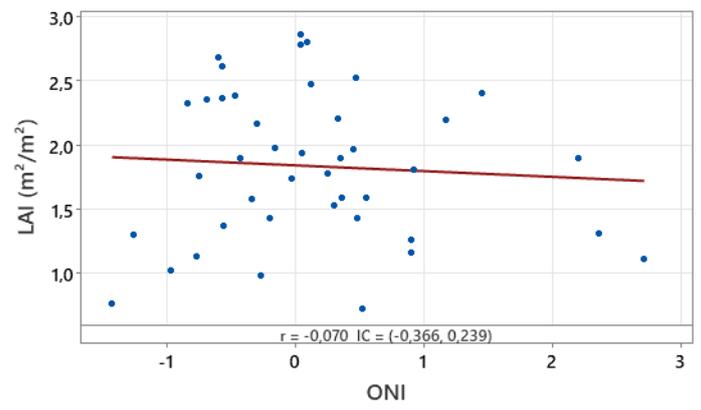
Matriz de Dispersão de ONI; EVI
IC de 95% para a correlação de Pearson



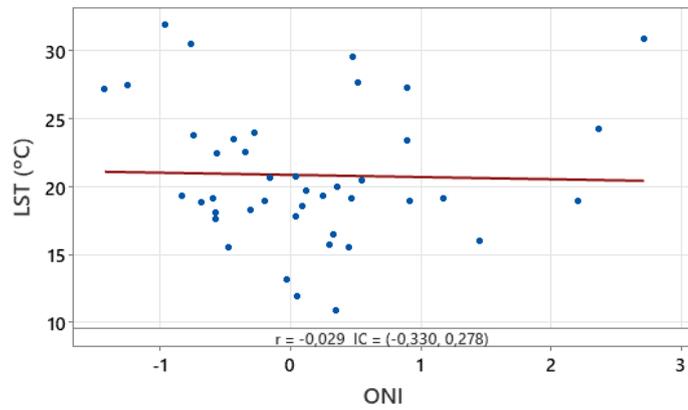
Matriz de Dispersão de ONI; NDWI
IC de 95% para a correlação de Pearson



Matriz de Dispersão de ONI; LAI (m²/m²)
IC de 95% para a correlação de Pearson



Matriz de Dispersão de ONI; LST (°C)
IC de 95% para a correlação de Pearson



5.4. RELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS COM DADOS DE PRODUTIVIDADE

As **Figura 29** e **Figura 30** demonstram os dados de fertilizantes utilizados (kg/ha) e cevada produzida (kg/ha), respectivamente.

Figura 29. Fertilizantes utilizados por safra entre 2015 e 2020 em kg/ha.

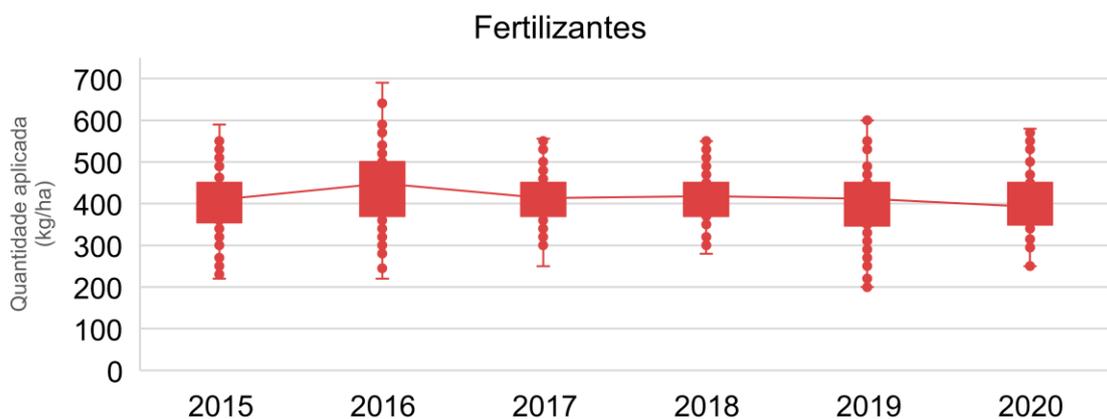
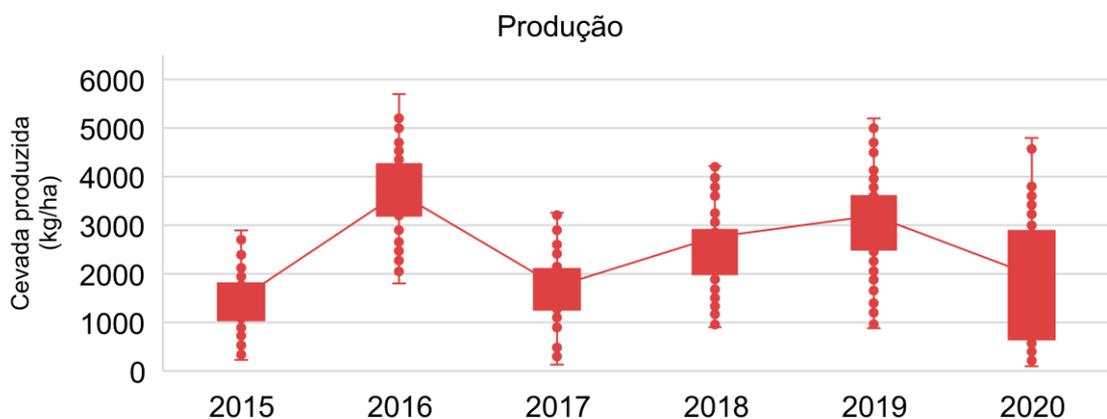


Figura 30. Cevada cervejeira produzida por safra entre 2015 e 2020 em kg/ha.



Durante os anos de 2015 e 2020, a utilização de fertilizantes não variou de forma expressiva, sendo aplicada a quantidade similar para todas as safras. Assim as variações na produção de cevada entre os anos poderiam ser relacionadas de forma mais direta com as condições ambientais do que com a quantidade de fertilizantes aplicados, visto que não variaram significativamente entre os anos, exceto em 2016, quando houve um leve aumento do uso de fertilizantes e os melhores resultados de cevada produzida.

Como descrito por [Arias \(1995\)](#), em anos com excesso de chuvas, tem-se condições favoráveis para a formação de doenças. Além disso, segundo [Rodrigues & Martins \(2015\)](#), há um risco atrelado a altas taxas de precipitação

no início do ciclo, pois chuvas dificultam a difusão de oxigênio no solo, o que pode dificultar a germinação, causando uma má formação do broto da cevada. Desta forma, pode-se relacionar a elevada precipitação no período de germinação com os resultados menores de produtividade em 2015 e 2017, que foram os anos com chuvas mais intensas no início da safra. Além disso, em 2020, houve uma queda nos resultados de produtividade e foram observadas anomalias positivas de temperatura. Durante este período, o cultivo esteve exposto a condições climáticas com maiores temperaturas, o que não favorece o desenvolvimento da safra, visto a caracterização da cevada como um cultivo de inverno.

6. Conclusão

A partir do estudo realizado, referente à caracterização fenológica da cevada a partir do cálculo de índices espectrais, pode-se dizer que o ápice de atividade fotossintética para o cultivo de cevada ocorre no meio da safra, mais especificamente no quarto mês (que para este estudo ocorreu em agosto), indicado pelos maiores resultados apresentados pelos índices de vegetação.

Para as anomalias calculadas, utilizadas para caracterização climatológica do período de estudo, o parâmetro ambiental com maior influência nos índices espectrais foi a temperatura do ar, devido à correlação mais expressiva com os valores de LST. Foi constatada a relação direta entre ambos, ou seja, quando a temperatura ambiente aumenta, o LST tende a crescer também. Em segundo plano, a correlação da temperatura do ar com os valores de LAI e NDVI também pode ser considerada expressiva. Este fator ambiental apresenta uma correlação indireta com os valores de LAI e NDVI. Isto pode ser explicado pela cevada ser uma cultura de inverno, ou seja, em temperaturas mais baixas, a atividade vegetal é favorecida, sendo representada por ambos os índices.

Por fim, dentre as condições ambientais avaliadas, pode ser observado um maior impacto na produtividade referente às taxas de precipitação. Em 2015 e 2017 foram registrados os maiores desvios positivos nos dois primeiros meses do ciclo, o que possivelmente impactou na produtividade destas safras, cujos valores de cevada produzida foram os menores no período analisado, e não foram observadas diferenças consideráveis no uso de fertilizantes para estes anos. Além disso, pode correlacionar o período mais longo de estiagem, observado durante a safra de 2020, com resultados menores de produtividade para este ano.

7. Referências bibliográficas

A Huete, K Didan, T Miura, E.P Rodriguez, X Gao, L.G Ferreira. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.** Remote Sensing of Environment, Volume 83. 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado a recursos hídricos.** Unidade 1. 2012.

ANDERSON, Martha C.; ALLEN, Richard G.; MORSE, Anthony; KUSTAS, William P. **Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources.** Remote Sensing of Environment, [S. l.], v. 122, p. 50–65, 2012.

ARIAS, G. **Mejoramiento genético y producción de cebada cervecera en América del Sur.** Roma: FAO - Dirección de Producción y Protección Vegetal, 1995.

BAGHDADI, Nicolas; ZRIBI, Mehrez. **Optical Remote Sensing of Land Surface.** Elsevier, 2016.

BATALHA, M. O; SILVA, A. L. **Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições, especificações, especificidades e correntes metodológicas.** In: BATALHA, M. O; (coord.) Gestão Agroindustrial. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.1-62p

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; SHIRATSUCHI, Luciano Shozo; BRANDÃO, Ziany Neiva; VICENTE, Luiz Eduardo; VICTORIA, Daniel de Castro; DUCATI, Jorge Ricardo; DE OLIVEIRA, Ronaldo Pereira; VILELA, Marina de Fátima. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF. Embrapa, 2014.

BONGARD, Phyllis; OELKE, Erv. **Spring barley growth and development guide.** University of Minnesota Extension. 2021. Disponível em: <https://extension.umn.edu/growing-small-grains/spring-barley-growth-and-development-guide>. Acesso em: set 2022.

BRBACHER, J. P. e GUASSELLI, L. (2013). **Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo -RS.** SBSR. 16, pp. 4540-4547

CÂMERA, Gil Miguel de Souza. **Fenologia é uma ferramenta auxiliar de técnicas de produção.** Visão Agrícola nº 5. Janeiro/Junho, 2006.

CANTARELLI, Arthur Luan Dias; SANTOS, Lekson Rodrigues; SOARES, Marcelo Augusto da Silva; DE MORAIS, Ricardo Barbosa Gomes; TEODORO,

lêdo. **Produtividade agrícola e eficiência no uso da água de chuva no cultivo do milho.** II Workshop Internacional sobre água no semiárido brasileiro. Campina Grande, Paraíba. 2015.

CLIMATE PREDICTION CENTER. **Cold & Warm Episodes by Season.**

Nation Weather Service. Disponível em:

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: set, 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira.** Monitoramento agrícola - Safras 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF.

CORSEUIL, Cláudia Webber; CAMPOS, Sérgio; RIBEIRO, Fernanda Leite; PISSARRA, Teresa Cristina Tarlé; RODRIGUES, Flavia Mazzer. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado na determinação da aptidão agrícola de uma microbacia.** Irriga, v. 14, n. 1, p. 12-22, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/71045>

COUTO JUNIOR, Antonio Felipe; DE CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio; MARTINS, Éder de Souza. **Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para caracterização fenológica do algodão.** Revista Brasileira de Cartografia (2013) Nº 65/1: 199-210

DA CUNHA, Gilberto Rocca; DALMAGO, Genei Antonio; ESTEFANEL, Valduino; PASINATO, Aldemir; MOREIRA, Márcia Barrocas. **El Niño, La Niña, oscilação do sul e seus impactos sobre as culturas de trigo e de cevada no Brasil.** 2000.

DÁVILA, Giovanni Alexander Jurado. **Revisão das estimativas de estoques de carbono do solo em regiões do Rio Grande do Sul.** 2016.

DE MELO, Rafaelly Soares. **Clima e produtividade da agricultura permanente: estudo exploratório para o estado de Pernambuco entre os anos de 2002 e 2012.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2014.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Prognóstico Cevada - Outubro de 2020.** Divisão de Conjuntura Agropecuária. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Governo do Estado do Paraná.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A Cevada no Mundo.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Passo Fundo, RS. Outubro, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cenário favorável para a cevada.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Jun 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62654017/cenario-favoravel-para-a-cevada>. Acesso em: jun, 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: set, 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **VII Plano Diretor da EMBRAPA 2020-2030.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF. 2020.

FISHER, Joshua B.; MALHI, Yadvinder; BONAL, Damien; DA ROCHA, Humberto R.; ARAÚJO, Alessandro C.; GAMO, Minoru; GOULDEN, Michael L.; HIRANO, Takashi; HEUTE, Alfredo R.; KONDO, Hiroaki; KUMAGAI, Tomo'omi; LOESCHER, Henry W.; MILLER, Scott; NOBRE, Antonio D.; NOUVELLON, Yann; OBERBAUER Steven F.; PANUTHAI, Samreong; ROUPSARD, Olivier; SALESKA, Scott; TANAKA, Katsunori; TANAKA, Nobuaki; TU, Kevin P.; RANDOW, Celso Von. **The Land-Atmosphere water flux in the tropics.** *Global Change Biology* (2009) 15, 2694-2714.

FREIRE, Julliana Larise Mendonça; LIMA, Jeane Rafeale Araújo; CAVALCANTI, Enilson Palmeira. **Análise de Aspectos Meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em Anos de *El Niño* e *La Niña*.** *Revista Brasileira de Geografia Física*. Setembro, 2011.

FONTANA, Ana Clara; FURONI, Gustavo César; MELO, Aila Maria Rodrigues; SABUNDJIAN, Michelle Traete. **A cultura da cevada.** *Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT*. Número 1. Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. Maio, 2016.

FONTANA, D. C., BERLATO, M. A. **Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M. *et al.* **The climate hazards infrared precipitation with stations — a new environmental record for monitoring extremes.** *Sci Data* 2, 150066 (2015).

GONZÁLEZ-SANPEDRO, M. C.; TOAN, T. Le; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. **Seasonal variations of leaf area index on agricultural fields**

retrieved from Landsat data. Remote Sensing of Environment. Volume 112, Issue 3, 18 March 2008, Pages 810-824.

GRIMM, A. M., TELEGINSKI, S. E., COSTA, S. M. S. da *et al.* **Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos La Niña.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9.,1996, Campos do Jordão. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996a. v. 2, p. 1113-1117.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal - 2020.** Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: set 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Condições atuais do ENOS.** Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: set, 2022.

JUNGES, Amanda Heemann; ALVES, Gilca; FONTANA, Denise Cybis. **Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno na região norte do estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 241-248.

JUNGES, Amanda Heemann; FONTANA, Denise Cybis. **Desenvolvimento de culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do NDVI.** Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.5, p.1349-1355, ago, 2009.

JUSTICE, C. O. *et al.* **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

KRUKLIS, Karen Leimann. **Cevada: importância da utilização na alimentação humana e a aplicabilidade na gastronomia.** Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Pós-graduação. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). Ijuí, Rs. Fevereiro, 2019.

LABORATÓRIO DE CLIMATOLOGIA E BIOGEOGRAFIA. **Temperatura do Ar.** Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://lcb.fflch.usp.br/temperatura-do-ar>. Acesso em: out, 2022.

LAWLOR, D. W.; DAY, W.; JOHNTON, A. E. **Growth of spiring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and**

nutrient content. Journal of Agricultural Science, Cambridge, v.96, p.167-186, 1981.

LIZARAZO, Diana Ximena Correa. **Parâmetros físico-químicos, germinativos e microestruturais de qualidade em cultivares brasileiros de cevada cervejeira.** Tese (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Fevereiro de 2003.

LOARIE, Scott R.; LOBELL, David B.; ASNER, Gregory P.; MU, Qiaozhen; FIELD, Christopher. **Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil.** Nature Climate Change. Vol 1. P. 105 – 109. Maio, 2011.

LU, Dengsheng. **The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation.** International Journal of Remote Sensing. Vol 27. 2006.

MENKE, Aline Brignol; JUNIOR, Osmar Abílio de Carvalho; GOMES, Roberto Arnaldo; MARTINS, Éder de Souza; DE OLIVEIRA, Sandro Nunes. **Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA - Brasil).** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21 (3): 315-326, dez. 2009.

MINELLA, Euclides. **Melhoramento da cevada.** Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS. 1999.

MOTA, Fernanda; MATEUS, Matheus Mateus; AGUIAR, Marilton; ADAMATTI, Diana. **Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Maio de 2020.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e Você – o fenômeno climático.** Editora Transtec. São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/saiba/Oque_el-nino.shtml. Acesso em: set. 2022.

PEREIRA, Danusa de Cássia; SANT'ANA, Lucas César Frediani. **O uso do sensoriamento remoto no manejo biológico e químico do cafeeiro.** XII Encontro Internacional de Produção Científica da UniCesumar. 2021.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao geoprocessamento.** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Ourinhos, São Paulo. Outubro, 2010.

PRINA, Bruno Zucuni; TRENTIN, Romário. **Análise da temperatura da superfície por meio de imagens Landsat 8: estudo de caso para o município de Jaguari/RS/Brasil.** Revista Formação (Online). Vol. 3; n. 23; mai-ago/2016. p. 264-285.

RIBEIRO NETO, Germano Gondim. **Monitoramento e caracterização de secas da América do Sul com sensoriamento remoto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Jun, 2017.

RIBEIRO, T. L. P.; CUNHA, G. R. DA; PIRES, J. L. F.; PASINATO. **Respostas fenológicas de cultivares brasileiras de trigo à vernalização e ao fotoperíodo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.44, n.11, p.1383-1390. 2009.

RODRIGUES, Manuel Ângelo; MARTINS, Vítor Manuel Ramalheira. **Produção e tecnologia de cereais: notas breves sobre o cultivo de cevada em Portugal**. Jornadas de Lúpulo e Cerveja. Instituto Politécnico de Bragança. 2015.

ROUSE JR, J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. 1974.

SALTER, P. J.; GOODE, I. E. **Crop responses to water at different stages of growth**. England: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1967. 246p.

SÁNCHEZ-ROMÁN; Rogrigo M. **Seminários em irrigação e drenagem**. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Abril de 2018.

SANTI, A., VICARI, M. B., PANDOLFO, C., DALMAGO, G. A., MASSIGNAM, A. M., PASINATO, A. **Impacto de cenários futuros de clima no zoneamento agroclimático do trigo na região Sul do Brasil**. Agrometeoros, v.25, n.2, p.303-311, 2017. **ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E PRODUTIVIDADE DO MILHO CULTIVADO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS**. II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro. 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Agricultura sustentável**. Cadernos de Educação Ambiental. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 2014.

SILVA, Claudio Gomes da. **Caracterização física e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros-MG em eventos de el niño-oscilação Sul**. 2018. [44 f.]. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, [Seropédica - RJ].

SOARES, Marcos Jardel Matias; WEGNER, Juliana; VENZKE, Tiago Schuch Lemos; KLEINICKE, Jonas; CURTI, Aline Ritter. **Fenologia de espécies arbóreas nativas do Brasil para planejamento da coleta de sementes**. XXVII Congresso de Iniciação Científica. Universidade Federal de Pelotas. 2018.

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; MENEZES, N. L.; GARCIA, D. C.; ALBERTO, C. M.; LAGO, I. **Estimativa do filocrono em cultivares de trigo de primavera.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.13, p.423-429, 2006.

MCFEETERS, S. K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.** International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Compilation of Greenhouse Gas Emission and Removal Factors in Brazilian Agriculture.** Governo Federal. Brasília, DF. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria nº 691 de 22 de novembro de 1996.** Atualização e adequação dos padrões de qualidade da cevada para fins cervejeiros. Brasília, DF. 2021.

PORTELA, Mirya Grazielle Torres; LEITE, Luiz Fernando Carvalho. **Emissões de GEE pela agricultura: o caso dos cultivos de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Climatologia. Ano 12 – Vol. 18 – Janeiro/Junho, 2016.

RUNNING, S. W. *et al.* **Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS.** International Journal of Remote Sensing, [S. l.], v. 15, n. 17, p. 3587–3620, 1994.

SANTI, Anderson; DALMAGO, Genei Antonio; DENARDIN, José Eloir. **Potencial de sequestro de Carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa.** 2007.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service.** August, 2022.

URCHEI, M. A. **Efeitos de défices hídricos, em três estádios fonológicos, da cultura da cevada (*Hordeum vulgare L.*).** Botucatu, 1992. 164p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP.

VALENCIA, Lady Victoria Angulo. **Comportamento espectral das culturas de milho, arroz e soja, usando imagens dos satélites Sentinel-2, CBERS-4 e Landsat-8.** Programa de Pós-Graduação em Ciências e Aplicações Geoespaciais. Escola de Engenharia. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo. 2020.

WATSON, D. J. **The physiological basis of variation in yield.** Advances in Agronomy, San Diego, v. 4, p. 101- 144, 1952.

WENGERT, M.; PIEPHO, H. P.; ASTOR, T.; GRAß, R.; WIJESINGHA, J.; WACHENDORF, M. **Assessing Spatial Variability of Barley Whole Crop**

Biomass Yield and Leaf Area Index in Silvoarable Agroforestry Systems Using UAV-Borne Remote Sensing. *Remote Sens.* 2021, 13, 2751.