

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL – Campus Ibirubá**

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE IBIRUBÁ – RS DAS  
SAFRAS DE SOJA 2020/21 E 2021/22**

**FÁBIO DANIEL ROHR TIEMANN**

**Ibirubá – RS**

**2023**

**FÁBIO DANIEL ROHR TIEMANN**

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE IBIRUBÁ – RS DAS  
SAFRAS DE SOJA 2020/21 E 2021/22**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado junto ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Professor Dr. Jardel Henrique Kirchner.

**Ibirubá – RS**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar força de vontade e coragem para superar os desafios encontrados durante toda minha jornada acadêmica.

À minha família, principalmente meus pais e minha irmã, pelo apoio, incentivo e por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – campus Ibirubá pela formação acadêmica e fornecimento da bolsa de fomento interno para projetos de pesquisa e inovação 2022/2023.

Ao prof. Dr. Jardel Henrique Kirchner, pela orientação, paciência, dedicação e apoio durante a condução deste trabalho.

Aos meus professores, pelos ensinamentos durante toda graduação.

Aos meus colegas e amigos, pelos bons momentos vividos e aprendizados.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização de dados climáticos para realização deste trabalho.

A Embrapa pela disponibilização da planilha utilizada para determinação da evapotranspiração.

## **RESUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Agronomia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá

### **BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE IBIRUBÁ – RS DAS SAFRAS DE SOJA 2020/21 E 2021/22**

AUTOR: FÁBIO DANIEL ROHR TIEMANN

ORIENTADOR: JARDEL HENRIQUE KIRCHNER

Ibirubá/RS, 23 de junho de 2023

A soja é um dos principais grãos produzidos no mundo, possuindo destaque no Brasil, que é o maior produtor da oleaginosa. No entanto, nas últimas safras de soja em algumas regiões do estado do Rio Grande do Sul vem se tornando frequente a ocorrência de severas estiagens, onde a distribuição irregular e escassa das precipitações compromete a produção da cultura e causam prejuízos aos produtores rurais. Contudo, a má distribuição das precipitações não é exclusividade do Rio Grande do Sul, podendo ainda ser observado que nos últimos anos a ocorrência de severas estiagens vem aumentando no Brasil, comprometendo a produção de soja causando grandes preocupações para os produtores e técnicos. O balanço hídrico climatológico (BHC) é um estudo meteorológico aplicado para caracterizar a umidade do solo, quantificando os excessos e os déficits de água no solo em uma determinada região dentro de um espaço de tempo. O conhecimento das características climáticas do município de Ibirubá se faz necessário para tentar mitigar os impactos e propor soluções, sendo que não é comum a realização de estudo da temática, tornando necessário gerar informações que possam auxiliar nas atividades agropecuárias. O trabalho teve como objetivo identificar e quantificar os meses durante o ciclo da cultura da soja que tiveram excedente ou déficit de água no solo nas safras 2020/21 e 2021/22 em Ibirubá. O BHC foi determinado pelo sistema de classificação climatológica de Tohrnthwaite e Mather (1955). Foi determinada a capacidade de água disponível do solo e foram utilizados dados climáticos obtidos da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em Ibirubá. Foi determinada a capacidade de água disponível do solo, calculada a precipitação acumulada mensalmente e, posteriormente, a evapotranspiração de referência diária através do método de Penman-Monteith durante o período compreendido ao cultivo da soja, ou seja, outubro a abril das duas safras. A partir dos dados de capacidade de água disponível, precipitação e evapotranspiração de referência foi desenvolvido o balanço hídrico, quantificando a diferença de precipitação e evapotranspiração, negativo acumulado, armazenamento de água no solo, variação de armazenamento de água no solo, evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico do período em estudo. O BHC para a safra 2020/21 resultou deficiência hídrica no solo nos meses de outubro, novembro, dezembro, fevereiro e abril, totalizando 262 mm de déficit hídrico. Os meses de janeiro e março não apresentaram excesso e nem déficit de água no solo. Já para a safra 2021/2022, considerada uma das piores dos últimos 50 anos pela falta e má distribuição das precipitações, impactando no desenvolvimento e produção da oleaginosa, o BHC resultou em quatro meses com deficiência hídrica no solo (novembro a fevereiro) com total acumulado de 330 mm e o excedente hídrico nos meses de outubro e abril com 149 mm. No mês de março não teve excesso e nem déficit de água no solo. A partir do BHC foi possível compreender os meses que possuíam déficit ou excedente hídrico no solo durante o ciclo da soja nas safras 2020/21 e 2021/22 em Ibirubá. Através do conhecimento do balanço hídrico de duas safras distintas no volume acumulado de precipitação, é possível que sirva de referência para os produtores da

região para próximas safras, utilizando os resultados para programarem manejos relacionados a cultura da soja. Além disso, caracterizar a necessidade de práticas de manejo que sirvam para aumentar o acúmulo de água do solo, que devem ser mais aplicadas pelos produtores para amenizar os efeitos das estiagens.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico do solo. Excedente pluviométrico. Déficit pluviométrico.

## **ABSTRACT**

Completion of course work

Agronomy Course

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá

### **CLIMATE WATER BALANCE OF THE MUNICIPALITY OF IBIRUBÁ – RS OF THE 2020/21 AND 2021/22 SOYBEAN CROP**

**AUTHOR: FÁBIO DANIEL ROHR TIEMANN**

**ADVISOR: JARDEL HENRIQUE KIRCHNER**

Ibirubá/RS, June 23, 2023

Soybean is one of the most produced grains in the world, with prominence in Brazil, which is the largest producer of the oilseed. However, in the last soybean harvests in some regions of the state of Rio Grande do Sul, the occurrence of severe droughts has become frequent, where the irregular distribution and scarcity of precipitation compromise the production of the crop and cause prejudices to rural producers. However, the poor distribution of rainfall is not exclusive to Rio Grande do Sul, and it can also be observed that in recent years the occurrence of severe droughts has been increasing in Brazil, compromising soybean production, causing concern for producers and technicians. The climatological water balance (CWB) is a meteorological study applied to characterize soil moisture, quantifying the excesses and deficits of water in the soil in a region during a period of time. Knowledge of the climatic characteristics of Ibirubá is necessary to try to mitigate the impacts and propose solutions, and it is not common to carry out a study on the subject, making it necessary to generate information that can help in agricultural activities. The objective of this work is to identify and quantify the months during the soybean crop cycle that had water surplus or deficit in the soil in the 2020/21 and 2021/22 harvests in Ibirubá. The CWB was determined by the Tohrnthwaite and Mather (1995) climatological classification system. The available water capacity of the soil was determined using climatic data obtained from an automatic meteorological station of the National Institute of Meteorology located in Ibirubá. The available water capacity of the soil was determined, the monthly accumulated precipitation was calculated and, subsequently, the daily reference evapotranspiration was calculated using the Penman-Monteith method during the period comprising soybean cultivation, from October to April of the two harvests. Based on the available water capacity, precipitation and reference evapotranspiration data, the water balance was developed, quantifying the difference in precipitation and evapotranspiration, accumulated negative, soil water storage, variation in soil water storage, real evapotranspiration, deficiency water supply and water surplus for the period under study. CWB for the 2020/2021 harvest resulted in water deficit in the soil in the months of October, November, December, February and April), totaling 262 mm of water deficit. The months of January and March did not show excess or deficit of water in the soil. The 2021/2022 harvest was considered one of the worst in the last 50 years due to the lack and poor distribution of rainfall, impacting the development and production of the oilseed, CWB resulted in four months with water deficit in the soil (November to February) with total accumulated 330 mm and the water surplus in the months of October and April with 149 mm. In March there was no excess or deficit of water in the soil. From CWB it was possible to understand the months that had deficit or surplus of water in the soil during the soybean cycle in the 2020/21 and 2021/22 harvests in Ibirubá. The presence of a meteorological station in Ibirubá is important for carrying out such studies. Through knowledge of the water balance of two different harvests in the accumulated volume of precipitation, it can serve as a reference for producers in the region for future harvests, using

the results to program managements related to the soybean crop. In addition, characterizing the need for management practices that serve to increase soil water accumulation, should be more applied by producers to mitigate the effects of droughts.

**Keywords:** Soil water balance. Rainfall excess. Rainfall deficit.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977) da cultura da soja.....	18
Figura 2: Localização do município de Ibirubá.....	22
Figura 3: Estação meteorológica automática de Ibirubá, localizada no IFRS – campus Ibirubá .....	23
Figura 4: Variação da precipitação e temperatura no município de Ibirubá do dia 01 de outubro de 2020 a 30 de abril de 2021 .....	30
Figura 5: Variação da precipitação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real para o município de Ibirubá no decorrer da safra de soja 2020/2021.....	33
Figura 6: Representação do balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2020/2021 .....	34
Figura 7: Variação da precipitação e temperatura no município de Ibirubá do dia 01 de outubro de 2021 a 30 de abril de 2022 .....	35
Figura 8: Variação da precipitação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real para o município de Ibirubá no decorrer da safra de soja 2021/2022.....	38
Figura 9: Representação do balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2021/2022 .....	39



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2020/2021 .....	31
Tabela 2: Balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2021/2022 .....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>13</b>
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1.1 Balanço Hídrico Climatológico.....	13
2.1.2 Evapotranspiração .....	14
<b>2.1.2.1 Evapotranspiração de referência .....</b>	<b>16</b>
2.1.3 Cultura da soja.....	16
<b>2.1.3.1 Origem e importância .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3.2 Descrição morfológica .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3.3 Exigências climáticas da cultura da soja .....</b>	<b>18</b>
2.1.4 El Niño e La Niña.....	20
2.1.5 Armazenamento de água no solo .....	21
2.1.6 Dados meteorológicos .....	21
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	22
2.2.1 Área de estudo .....	22
2.2.2 Realização do Balanço Hídrico .....	23
<b>2.2.2.1 Método de Thornthwaite e Mather (1955) .....</b>	<b>25</b>
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
<b>3. CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>4. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura possui como característica a atividade econômica mais dependente das condições agrometeorológicas e edafoclimáticas, sendo que estas envolvem o manejo adequado de solo, água, clima e a gestão dos recursos hídricos (ROMANI et al., 2016).

De acordo com Zambiazzi et al. (2017), a soja é uma das leguminosas mais produzidas no Brasil e no mundo, sendo considerada uma das culturas agrícolas que mais cresceu nas últimas três décadas, com uma área de cultivo relevante correspondendo a mais de 50% de toda área cultivada com grãos no Brasil. Apresenta potencial econômico para a comercialização no mercado nacional e internacional, sendo a commodity que mais se destaca em território brasileiro e uma das principais culturas do agronegócio (VINHAL; FREITAS et al., 2011).

Segundo Fietz e Urchei (2002) a produção de soja é altamente afetada de forma negativa quando se tem a ocorrência de secas ou estiagens no decorrer do seu ciclo. Nas últimas safras de soja no estado do Rio Grande do Sul a escassez ou má distribuição de chuvas vem se tornando frequente durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, sendo esse um fator limitante à obtenção de altas produtividades.

A seca é conceituada como uma deficiência de precipitação durante um período prolongado que resulta em escassez de água para algumas atividades, grupo ou setor ambiental. Já a queda acentuada das reservas hídricas de superfície e de subsuperfície de uma dada região é descrita como estiagem, onde também causa consequências negativas sobre a atividade agropecuária (SOUZA-JUNIOR; SAUSEN; LACRUZ, 2010).

Essas crescentes estiagens no Brasil que são influenciadas pelo fenômeno Lã nina, vão intensificando o uso da irrigação nas culturas, tanto perenes quanto anuais. A irrigação envolve técnicas, formas ou meios para realizar a aplicação de água, de forma artificial, às plantas, satisfazendo a necessidade hídrica do cultivo. Está associada a um elevado nível tecnológico, no entanto é praticada por muitos de forma inapropriada, com desperdício de água e energia (MAROUELLI et al, 2011; TESTEZLAF, 2017).

Com o objetivo de alcançar o sucesso no planejamento agrícola e obtenção de alta produtividade é de suma importância o monitoramento climático para determinar a melhor época e áreas mais promissoras para semeadura. Neste sentido, o estudo e o monitoramento dos períodos de maior ou menor ocorrência de precipitação, das temperaturas ótimas para as culturas, da disponibilidade de radiação e do balanço hídrico são fundamentais para haver retorno produtivo (VILLA et al., 2022).

Se tratando de agricultura é de enorme importância a disponibilização de dados agrometeorológicos para se ter o conhecimento da distribuição no tempo e espaço dos recursos hídricos, tornando a atividade cada vez mais viável (MATOS et al., 2018). Ademais, o balanço hídrico climatológico possibilita classificar o clima de uma região, auxiliando no zoneamento agroclimático e ambiental, conhecendo os períodos de maior disponibilidade e necessidade hídrica no solo, favorecendo o planejamento de recursos hídricos (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010).

O conhecimento das características climáticas do município de Ibirubá, se faz necessário. Apesar de ser uma prática pouco comum a realização de estudo da temática, existe a necessidade de gerar informações a respeito da dinâmica da água no solo, principalmente no período de cultivo da soja no município.

Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo obter, organizar, analisar os dados climáticos e gerar o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para o município de Ibirubá – RS durante as safras de soja 2020/21 e 2021/22.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1 Balanço Hídrico Climatológico

A disponibilidade hídrica de uma região pode ser contabilizada pelo balanço hídrico climatológico (BHC), no qual indica as variações sazonais dos excessos e déficits hídricos através de relações entre as entradas e saídas de água de uma condição de controle, principalmente precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (SOUZA et al., 2013).

O balanço hídrico climatológico criado por Thornthwaite e Mather (1955) foi desenvolvido para determinar o regime hídrico de um local, quantificando a água disponível às plantas em um espaço de tempo os períodos com maior ou menor umidade no solo. A elaboração de um balanço hídrico, mesmo utilizando um período de avaliação curto, tem sua importância, pois considera os aspectos relacionados ao solo e a dinâmica da água no mesmo (MONTEIRO et al., 2011; MATOS et al., 2014).

O volume de controle é uma função da profundidade do sistema radicular das plantas, onde deve ser representativo de toda área estudada, sendo essa área aquela representada pelo ponto de medida, tendo como principal elemento a chuva. As principais entradas de água no solo além da chuva são irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar e as principais saídas de água do solo são a evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda (JESUS, 2015).

Os valores de precipitação e orvalho dependem do clima da região analisada, as entradas restantes dependerão do tipo de solo e relevo da região. A irrigação em muitos casos é somente utilizada para conservar o armazenamento de água no solo em nível adequado às necessidades das plantas. A contribuição do orvalho é importante apenas no aspecto ecológico, contribuindo com no máximo  $0,5 \text{ mm.dia}^{-1}$ , onde 1 mm equivale a 1  $\text{litro.m}^{-2}$ , sendo desprezível em regiões ou épocas secas para o suprimento de água para a planta (VIDAL, 2022; PEREIRA et al., 2007).

A quantidade de água que entra e sai no escoamento superficial e na drenagem lateral irão se compensar, pois a contribuição da ascensão capilar na entrada de água é muito pequena, ocorrendo somente em locais com lençol freático superficial. A drenagem profunda

representa o excesso de água que penetrou no volume de controle através da chuva. A irrigação também se torna desprezível (JESUS, 2015).

Os fluxos horizontais de água para áreas homogêneas como escoamento superficial (Run on), escoamento superficial (Run off) e drenagem lateral irão se compensar, conseqüentemente, anulando-se. A evapotranspiração representa a principal saída de água nos períodos secos, ao mesmo tempo em que a drenagem profunda, o excesso de água no solo, representa outra forma de saída de água do volume de controle do solo em períodos de chuva excessiva (PEREIRA et al., 2007).

De acordo com Cecílio et al. (2012) o balanço hídrico possui como finalidade calcular o armazenamento e a variação do armazenamento de água no solo, a evapotranspiração real, o déficit e excedente hídrico. Sendo considerado uma ferramenta importante na gestão hidro agrícola, auxiliando no zoneamento climático para definição de épocas mais apropriadas para realização de manejos e dimensionamentos de técnicas voltadas para conservação do solo e da água.

### 2.1.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração pode ser definida como um processo que ocorre de maneira simultânea da evaporação da água do solo e transpiração das plantas. Normalmente é expressa em valores diários, médios ou totais, em lâmina de água ou volume por unidade de área, dentro de um período. É um processo que necessita principalmente da energia solar recebida (PEREIRA et al., 2007).

Na evapotranspiração a água é transformada do estado líquido para o gasoso, sendo posteriormente devolvida à atmosfera. O processo de evapotranspiração normalmente depende da energia disponível no sistema para absorção da água no solo, da temperatura, umidade do ar, da deficiência de pressão do vapor e do transporte do vapor que é condicionado pelo vento (JESUS, 2015).

De acordo com Peixoto (2020), as plantas realizam a transpiração onde a água do solo é absorvida através de suas raízes, é conduzida pelo xilema até as células do mesófilo, saindo pelos estômatos. Estes são os chamados reguladores de taxa de transpiração, que estão presentes nas folhas, e são considerados o mecanismo mais eficiente de transpiração.

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2013), as estações do ano causam efeitos sobre a evaporação e a transpiração, sendo isso consequência da variação da quantidade de

energia radiante que atinge o solo, durante esses períodos. Estas variações serão tanto maiores quanto mais afastadas do equador for a área a ser considerada.

De acordo com Santos et al. (2017), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. A disponibilidade de energia disponível para evapotranspiração é dependente das coordenadas geográficas do local avaliado e da época do ano. Também descreve que a temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e radiação solar são as variáveis climáticas que mais interferem na evapotranspiração.

A temperatura possui influência direta na evaporação, pois à medida que aumenta temperatura ao longo do dia, aumenta o déficit de saturação, tornando maior a demanda evaporativa do ar, a quantidade de vapor de água presente no mesmo volume de ar será maior. A umidade relativa do ar atmosférico é a relação entre a quantidade de vapor de água aí presente e a quantidade de vapor de água no mesmo volume de ar se estivesse saturado de umidade. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor a demanda evaporativa e menor a evapotranspiração (PEREIRA et al, 2007).

De acordo com Collischonn e Tucci (2014), a pressão atmosférica tende a ser mais baixa em períodos antecedentes a chuvas, e mais alta em períodos de tempo bom. No entanto, a pressão atmosférica é, provavelmente, a variável que menos influencia na evapotranspiração. Quanto ao vento, Pereira et al. (2007) descreve que o vento realiza o transporte horizontal de energia de uma área mais seca para outra mais úmida, e esta energia adicional é utilizada no processo evaporativo, ele faz a renovação do ar com as massas de água ou vegetação.

A radiação solar é descrita por Rêgo e Sorrentino (2020) como energia eletromagnética que possui o Sol como fonte, sendo formada por diversos comprimentos de onda. Essa energia viaja do Sol até a Terra sem perdas gerais em sua totalidade, mas ao chegar na Terra devido a existência da atmosfera grande parte dessa energia não chega à superfície de forma direta, pois apenas 25% da radiação solar chega à superfície sem sofrer interferência da atmosfera, o resto ou foi absorvida, refletida ou sofreu espalhamento em obstáculos como as nuvens. Dependendo do comprimento de onda, esses fatores se alteram e os raios pode interagir com diferentes objetos ou superfícies. A radiação global é a soma da radiação solar direta mais a difusa. A radiação solar direta atravessa a atmosfera (sem interagir) e atinge a superfície. Já a radiação solar difusa atravessa a atmosfera e é difundida pelos constituintes atmosféricos, sua direção é alterada.

### 2.1.2.1 Evapotranspiração de referência

A Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é muito utilizada na realização de balanços hídricos, estudos meteorológicos, manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação. Para sua estimativa são necessários dados a respeito das variáveis climáticas, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e saldo de radiação (CONCEIÇÃO, 2006).

A ET<sub>o</sub> representa a demanda hídrica de uma região, sendo um termo variante de região para região, ou seja, é dependente única e exclusivamente das condições climáticas presentes no local, sendo que muito autores a descrevem como antiga evapotranspiração potencial (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2012).

Os métodos indiretos mais utilizados para estimar a ET<sub>o</sub> são o método de Thornthwaite, Hargraves-Samani, Makkink, Blaney-Criddle, Camargo e Jensen-Haise. No entanto, o método de Penman-Monteith é considerado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) como método padrão para determinação da evapotranspiração de referência. O método é baseado em processos físicos e, explicitamente, incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Neste método, a cultura de referência utilizada é uma cultura hipotética, que possui características semelhante a grama. Os parâmetros para a cultura hipotética são: altura de 0,12m, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 69s.m<sup>-1</sup> (ONGARATTO; BORTOLIN, 2021; ALENCAR et al., 2015).

### 2.1.3 Cultura da soja

#### 2.1.3.1 Origem e importância

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é originária do continente asiático, na região correspondente à China Antiga. Existem estudos descrevendo que o povo chinês utilizava a leguminosa como fonte de alimento há mais de 5.000 anos (CÂMARA, 2015).

Sobre o surgimento da soja no Brasil, o primeiro relato de seu cultivo ocorreu na região nordeste no ano de 1882, no estado da Bahia. Posteriormente foi introduzida no estado de São Paulo por imigrantes japoneses, sendo que no estado do Rio Grande do Sul somente no ano de 1914 ocorreu a introdução da cultura, onde foram trazidas variedades dos Estados Unidos que se adaptaram às condições edafoclimáticas, principalmente em relação ao fotoperíodo (FREITAS, 2011).



De acordo com o levantamento da Conab (2022) a safra brasileira de soja 2020/2021 teve uma produção de 139.385,3 milhões de toneladas em 39.531,2 milhões de hectares semeados. Já na safra 2021/2022 a produção de soja foi reduzida, onde foram produzidas 125.552,3 milhões de toneladas em 41.452,0 milhões de hectares semeados. A Conab explica que essa redução de produção se deu pela grande estiagem que atingiu a região sul do país.

A safra de soja 2020/2021 no estado do Rio Grande do Sul teve uma produção de 20.787,5 milhões de toneladas em 6.055,2 milhões de hectares semeados. Por outro lado, a safra 2021/2022 teve uma grande redução na produção da soja, sendo somente produzidos 9.111,0 milhões de toneladas de soja em 6.358,0 milhões de hectares (CONAB, 2022).

O cultivo de soja pertence ao conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial, onde seu produto é utilizado por empresas de esmagamento para fabricação de farelo e óleo de soja, como também outros subprodutos. O complexo agroindustrial da soja tem expressiva importância socioeconômica para o Brasil, pois movimenta um amplo número de agentes e organizações ligados aos mais diversos setores socioeconômicos (PICCOLI, 2018).

Com o surgimento dos programas de melhoramento no Brasil, o cultivo de soja em regiões de baixas latitudes avançou significativamente, pelo fato ter ocorrido o desenvolvimento de cultivares com a característica de período juvenil longo, na qual ocorreu a incorporação de genes que atrasa o florescimento, mesmo em condições de fotoperíodo indutor (FREITAS, 2011).

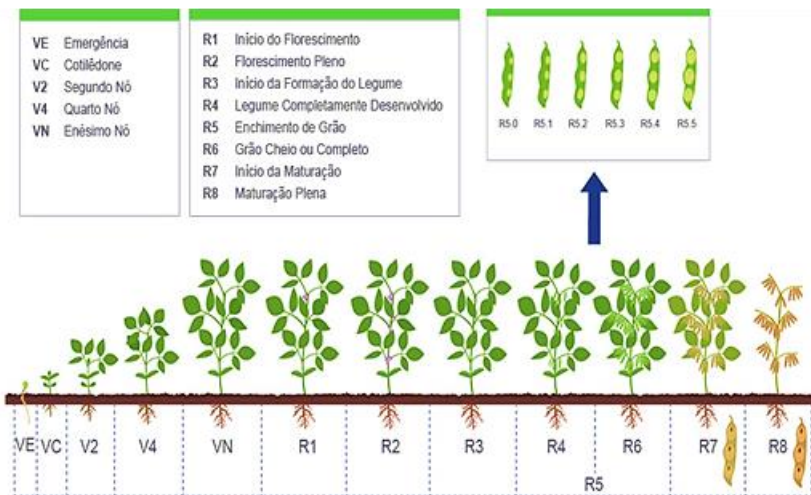
### **2.1.3.2 Descrição morfológica**

A soja é uma planta anual, seu sistema radicular é do tipo pivotante ou axial, na qual é constituído por uma raiz principal e por raízes secundárias. Nas raízes são encontrados nódulos que representam a simbiose entre a soja e as bactérias do gênero *Bradirhizobium*, que são responsáveis pela fixação do nitrogênio atmosférico. Seu caule é ereto, pubescente e herbáceo, que normalmente apresenta ramificações. O hábito de crescimento da planta pode ser determinado ou indeterminado (TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2019).

A planta de soja apresenta folhas cotiledonares e unifolioladas no desenvolvimento inicial, posteriormente possuem folhas trifolioladas até sua senescência. A soja é uma espécie autógama, ou seja, suas flores se autofecundam, onde estas apresentam cor branca ou roxa. O fruto é um legume, de forma achatada. No início do seu desenvolvimento os legumes apresentam coloração verde e à medida que amadurecem sua coloração passa a ser amarelo-

pálido, marrom claro ou cinza. Cada legume contem normalmente 2 ou 3 sementes que são lisas, elípticas ou globosas, com tegumento de coloração amarelo-pálido e hilo marrom, preto ou amarelo-palha (TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2019; NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2021). A Figura 1 demonstra a escala fenológica da cultura da soja.

**Figura 1:** Escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977) da cultura da soja.



*Fonte: Tejo et al., 2019.*

A metodologia utilizada na caracterização fenológica da soja proposta por Fehr e Caviness (1977), divide o desenvolvimento da soja em estádios vegetativos, designadas pela letra V, que abrange desde a germinação e emergência até o início do florescimento, e em estádios reprodutivos, designados pela letra R, que inicia no florescimento e se encerra na maturidade fisiológica (MONTEIRO, 2009).

### 2.1.3.3 Exigências climáticas da cultura da soja

A cultura da soja é totalmente dependente de condições climáticas, sendo a luz, temperatura e umidade as principais. Se tratando de luz a radiação solar interfere muito no desenvolvimento da soja, pois ela necessita de energia proveniente da radiação solar para realizar a fotossíntese, processo onde o CO<sub>2</sub> atmosférico é transformado em energia metabólica. Também possui grande interferência na alongação da haste principal e ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e no processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN). Durante o período de enchimento de grãos o uso da radiação solar é bastante intensificado (SILVA et al., 2022).

A luz também interfere no fotoperíodo, que seria o número de horas luz por dia para indução do florescimento. A soja é uma planta de dias curtos, ela irá induzir o florescimento se a duração do dia for menor ou igual ao valor crítico que caracteriza a cultivar. Se não houver o comprimento de dia ideal para indução do período reprodutivo, ela irá seguir o período vegetativo (TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2019).

De acordo com Silva et al. (2022) cada cultivar possui seu período juvenil para indução do florescimento, onde pode ser curto ou longo. Para a região sul do Brasil são recomendadas cultivares com período juvenil curto, pois na época de semeadura os dias são longos, onde a indução é retardada e as plantas possuem tempo suficiente para produção de gemas reprodutivas antes dos dias se tornarem mais curtos. As cultivares com período juvenil longo são recomendadas para as regiões tropicais, como o cerrado brasileiro, pois a latitude é menor e no período de cultivo da soja a amplitude de horas luz e escuro é reduzida. A indução ao florescimento ocorre a partir da 5ª à 7ª folha trifoliolada, mesmo com condições de fotoperíodo crítico antes desse estágio as plantas não irão florescer.

Outra variável climática com grande influência na soja é a temperatura, onde a faixa ideal de temperatura do ar para o desenvolvimento da soja varia de 20 °C a 30 °C. Temperaturas abaixo de 10 °C o desenvolvimento vegetativo é pequeno ou nulo, temperaturas altas, acima de 40 °C, causam distúrbios na floração, abortamento de flores e legumes e formação irregular de grãos. Todos os problemas causados pela temperatura, aliados com o déficit hídrico são intensificados (SEIXAS et al., 2020).

O déficit hídrico é o maior causador da redução na produção de culturas de primavera-verão no Rio Grande do Sul, sendo causado pela distribuição irregular das precipitações pluviais e elevada demanda evaporativa da atmosfera (OLIVEIRA et al., 2020).

A cultura da soja durante em seu ciclo fenológico possui uma necessidade hídrica de 450 a 800 mm, sendo dependente das condições climáticas e da duração do ciclo. Os períodos críticos de maior necessidade hídrica na soja correspondem à fase de germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos. Na germinação e emergência tanto o excesso quanto o déficit hídrico podem ser prejudiciais no estabelecimento do estande de plantas. Durante esse processo a semente de soja necessita absorver 50% de seu peso em água para ocorrer a germinação, caso a quantidade de água nesta fase seja muito alta no solo, poderá reduzir a germinação pela falta de oxigênio no solo (SCHIAFFINO, 2018; TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2019).

O estresse hídrico ocasiona nas plantas de soja baixa estatura, entrenós curtos, redução da taxa de crescimento, folhas pequenas e murchas, diminuindo a atividade fotossintética da

planta. Também encurta o período de florescimento, produzindo menos flores e posteriormente legumes e grãos (GAVA, 2014; MAEHLER et al., 2003).

A soja atinge a máxima exigência hídrica na floração e enchimento dos grãos (7 a 8 mm.dia<sup>-1</sup>), o estresse hídrico nesta fase acarreta em problemas fisiológicos graves, sendo o tamanho e peso de grãos os mais afetados, diminuindo o metabolismo dos grãos (GAVA, 2014).

É importante para a cultura que durante o seu ciclo, principalmente durante os períodos mais críticos, tenha um volume adequado de água e distribuição das chuvas de forma uniforme, para satisfazer as exigências da planta, obtendo assim bons resultados de produção (MONTEIRO, 2009).

#### 2.1.4 El Niño e La Niña

Um dos fenômenos atmosféricos que causam variação de precipitação e temperaturas é o El Niño de Oscilação Sul (ENOS). Ele é constituído por dois componentes, um de natureza oceânica (El Niño/La Niña) e outro de natureza atmosférica (Oscilação Sul). O ENOS é um fenômeno de grande escala cuja região de origem é situada no Oceano Pacífico Tropical. O comportamento da temperatura da superfície das águas do Oceano Pacífico tropical (parte central e junto a costa oeste da América do Sul) associado aos campos de pressão (representados pelo Índice de Oscilação Sul) altera o padrão de circulação geral da atmosfera. Por este motivo, o ENOS influencia no clima de diferentes regiões do mundo, causando desvios extremos no clima normal, causando anomalias persistentes que duram normalmente 6 a 18 meses (CUNHA et al., 2011).

No Brasil, tanto o El Niño e La Niña causa alterações climáticas por todo território e de maneira bem heterogênea. Na região sul do país em período de El Niño as precipitações são abundantes com altos acumulados e elevações nos níveis de temperatura, por outro lado, em períodos de La Niña as precipitações se tornam bem escassas e tem-se a ocorrência de estiagens. Para a região norte e nordeste a situação é inversa, em períodos de El Niño há ocorrência de estiagens e em períodos de La Niña os níveis de precipitações são elevados (ARAÚJO, 2012).

De acordo com Santos (2008), o estado do Rio Grande do Sul nos períodos de fase fria (La Niña) as precipitações não ultrapassam a média climatológica em comparação aos períodos de fase quente (El Niño). Em relação a distribuição espacial, verifica-se que a região

oeste do estado é mais afetada pela redução das precipitações em comparação a região leste, sendo que na parte oeste a agricultura possui maior expressão no estado.

#### 2.1.5 Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo pode ser definido como a quantidade de água que fica armazenada em uma camada de solo com espessura conhecida. A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) são os limites máximo e mínimo de água disponível. A capacidade de campo é o limite superior de retenção hídrica, a quantidade máxima de água que o solo pode reter. O ponto de murcha permanente é o teor de umidade no solo abaixo do qual as plantas não conseguem extrair água, onde entram em uma condição de murcha (SCHWANTES, 2013; RAUBER, 2019).

De acordo Schwantes (2013) a capacidade de água disponível (CAD) é a água compreendida entre a CC e o PMP de um solo, representando a capacidade de armazenamento útil do solo ou a quantidade de água disponível para a cultura. Seu valor é utilizado para realização de um balanço hídrico. Solos de textura mais argilosa retêm maiores quantidades de água que solos mais arenosos, pois há presença maior de microporos que retêm mais água contra força da gravidade, no entanto são mais facilmente compactados. Os solos com textura arenosa possuem maior presença de macroporos, ocorrendo maior drenagem de água no solo. É de extrema importância a adoção de práticas que melhoram a estrutura do solo e que proporcionem um melhor desenvolvimento e aprofundamento do sistema radicular das plantas para incrementar o armazenamento de água no solo, e conseqüentemente a CAD (MONTEIRO, 2009).

#### 2.1.6 Dados meteorológicos

Para se construir dados sobre o clima e/ou recursos hídricos, é necessário que existam dados sobre umidade, temperatura, velocidade do vento, precipitação, etc. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibiliza dados de sua rede de estações, tendo como função auxiliar a tomada de decisões no setor agrícola, e administra grande parte das estações instaladas no território nacional (REIS, 2016).

Segundo Mantovani, Bernardo e Palaretti (2012), existem diversos modelos de estações meteorológicas, que podem ser automáticas ou não, sendo a grande tendência pelas automáticas, em função do seu maior número de variáveis medidas e operacionalidade. São

encontradas no mercado nas mais variadas formas e modelos, variando seu custo pela quantidade de sensores presentes. Para determinação da ETo, a estação necessita ter os sensores de temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e chuva.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado no município de Ibirubá, localizado na região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 2).

**Figura 2:** Localização do município de Ibirubá.



*Fonte: Google (2022).*

Os dados meteorológicos foram coletados da Estação Meteorológica Automática de Ibirubá (Latitude 28°39'12,4" S, Longitude 53°06'42,6" W, altitude 455 metros) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no setor agrícola do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá (Figura 3).

**Figura 3:** Estação meteorológica automática de Ibirubá, localizada no IFRS – Campus Ibirubá.



*Fonte: O autor (2022).*

A estação meteorológica entrou em funcionamento no dia 13 de dezembro de 2012. Ela mede e registra a cada horário o valor das variáveis meteorológicas temperatura do ar, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade do vento, radiação e chuva. Os dados registrados na estação são encontrados no site do INMET.

De acordo com o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2020), o município de Ibirubá possui uma área de 607,185 km<sup>2</sup> com uma distância da capital Porto Alegre de 292 km. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo predominante do município é classificado como Latossolo Vermelho (MSRS, 2022).

O clima do município de Ibirubá segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa (temperado, úmido e com verões quentes). As temperaturas médias máximas do município variam em torno de 25 °C e as temperaturas médias mínimas chegam em até 13.1 °C. A precipitação média anual do município é de 1810,1 mm, ocorrendo os maiores acumulados no mês de outubro e os menores acumulados no mês de maio (IRGA, 2022).

### 2.2.2 Realização do Balanço Hídrico

A partir da série de dados climáticos de outubro de 2020 a abril de 2021 e outubro de 2021 a abril de 2022 foi realizado o balanço hídrico climatológico. O mês de outubro é caracterizado pelo início da semeadura da cultura no município. De acordo com o Ministério

da Agricultura e Pecuária (MAPA) (2022), o Zoneamento Agrícola de Risco Climático identifica as áreas aptas e os períodos de semeadura com menor risco climático para o cultivo da soja. É realizado um modelo de balanço hídrico da cultura, levando em consideração a precipitação pluviométrica (série histórica de no mínimo 15 anos), a evapotranspiração potencial, fase fenológica da cultura (ciclos variando de 100 a 180 dias), coeficiente da cultura e disponibilidade máxima de água no solo.

São considerados solos do tipo 1,2 e 3 com capacidade de armazenamento de água de 35, 55 e 75 mm, respectivamente. São considerados três faixas de risco, 20%, 30% e 40%, e para indicação por macrorregião sojícola, as cultivares são agrupadas de acordo com seu grupo de maturação relativa (GMR), onde para macrorregião 1 do Rio Grande do Sul deve ser seguido a especificação de cultivares Grupo I ( $GMR < 6.2$ ), Grupo II ( $6.2 \leq GMR \leq 7.2$ ) e Grupo III ( $GMR > 7.2$ ).

A tabela de período de semeadura indica a época de semeadura por decênios (períodos de 10 dias). O dia 1º a 10 de janeiro representa o primeiro decênio e o trigésimo sexto (último decênio) ocorre do dia 21 a 31 de dezembro. No município de Ibirubá durante a semeadura ocorre a predominância de utilização de cultivares com GMR menor que 6.2, levando em consideração solo do tipo III o período de semeadura com a faixa de risco de 20% ocorre do dia 11 de outubro a 10 de janeiro, e na faixa de risco de 30% do dia 11 de janeiro a 31 de janeiro, segundo o ZARC para safra 2021/22.

O ciclo da cultura é dependente do grupo de maturidade de cada cultivar, que varia normalmente de 120 a 160 dias. No mês de abril normalmente ocorre a colheita da soja no município, por este motivo se deu a escolha do período descrito para elaboração do BHC, pois é o período de cultivo da soja no município.

Os dados climáticos foram obtidos do site do INMET, acessando a ferramenta “Tabela de dados das estações” na aba “Dados Meteorológicos”, selecionado o tipo de estação (automática ou convencional), o estado que a estação está instalada, a estação e o período da coleta de dados. A estação automática mede e registra os dados a cada hora, tendo uma precisão superior que as estações convencionais que captam dados apenas três vezes ao dia. Para determinação da precipitação (P) foi realizada a soma diária dos acumulados para posterior soma mensal.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi determinada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, onde atualmente é o método considerado padrão para se estimar a ET<sub>o</sub>. Foi utilizada uma planilha no software Microsoft Excel desenvolvida pela



Embrapa, que tem como objetivo calcular a evapotranspiração de referência de forma automática utilizando as mesmas variáveis do método de Penman-Monteith FAO.

Para a determinação diária da ETo foi necessário preencher na planilha confeccionada e disponibilizada pela Embrapa as informações de data, latitude, dia juliano, altitude e município. Posteriormente foram preenchidas as células das variáveis meteorológicas temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade relativa máxima (%), umidade relativa mínima (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>) e radiação global (KJ.m<sup>-2</sup>) com os valores de cada horário. Em seguida foi realizado o somatório da ETo de cada dia para obter a evapotranspiração de referência mensal.

Foram utilizados dados climáticos de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade relativa máxima (%), umidade relativa mínima (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>) e radiação global (KJ.m<sup>-2</sup>) para determinação da ETo diária.

#### **2.2.2.1 Método de Thornthwaite e Mather (1955)**

O balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite & Mather (1955), traz um ótimo embasamento quando se busca quantificar o armazenamento, excedente e déficit hídrico (REIS, 2016). A definição da capacidade de água disponível (CAD) é um dos primeiros passos e consiste no intervalo de umidade do solo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), dependente do tipo de solo e da cultura (BORGES et al., 2021). A CAD foi determinada utilizando a equação 1:

$$CAD = CAD \text{ média} * Zr \quad (1)$$

Onde:

CAD: capacidade de água disponível (mm);

CAD média: capacidade de água disponível média, (mm/cm);

Zr: profundidade específica do sistema radicular (cm);

Doorenbos e Kassam (1994), determinaram que para solos argilosos deve-se considerar o valor de CAD média de 2,0 mm/cm. Para Zr, Alfonsi et al. (1990), a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da soja é de 50 cm (SENTELHAS E ANGELOCCI, 2012). Sendo então adotada uma CAD de 100 mm.

Depois de determinado a P, ETo e CAD, foi quantificada a diferença entre precipitação e evapotranspiração de referência (P-ETo). Os meses em que a P-ETo for positiva, precipitou mais que evapotranspirou, por outro lado, quando a P-ETo for negativa, a evapotranspiração foi maior que a precipitação. O cálculo é necessário para determinação dos negativos acumulados. A P-ETo foi determinada pela equação 2:

$$P-ETo_n = P_n - ETo_n \quad (2)$$

Onde:

P-ETo: diferença de precipitação e evapotranspiração de referência (mm);

P: precipitação (mm);

ETo: evapotranspiração de referência (mm);

n: mês de referência do cálculo;

Em seguida foi determinado o negativo acumulado (NAc), que consiste no somatório da sequência de valores negativos de P-ETo. O NAc representa em que mês o balanço hídrico foi inicializado, sendo muito importante para quantificar o armazenamento de água no solo. Foram observadas as seguintes situações para sua determinação:

- O cálculo do NAc é iniciado no primeiro mês de P-ETo negativo após uma sequência positiva de P-ETo, repetindo para o NAc o mesmo valor negativo de P-ETo do mês em questão.
- Se no mês seguinte o valor de P-ETo continua-se negativo, foi realizado o somatório do valor P-ETo do mês em questão com o valor do NAc do mês anterior.
- Se o armazenamento do mês for maior ou igual a CAD, o valor de NAc será 0.
- O mês em que a P-ETo voltar a ser positiva após uma sequência negativa, foi calculado primeiro o armazenamento pela equação 3, e depois o NAc foi quantificado pela equação 4.

$$ARM = (P-ETo)_n + ARM_{n-1} \quad (3)$$

Onde:

ARM: armazenamento de água no solo (mm);

P-ETo: diferença de precipitação e evapotranspiração de referência (mm);

n: mês de referência;

(n-1): mês anterior do mês de referência do cálculo;

$$N_{Ac} = CAD \times \ln (ARM/CAD) \quad (4)$$

Onde:

$N_{Ac}$ : negativo acumulado (mm);

$CAD$ : capacidade de água disponível (mm);

$ARM$ : armazenamento de água no solo (mm);

Com o negativo acumulado quantificado, foi determinado o armazenamento de água no solo ( $ARM$ ), que é a quantidade de água que estava presente no solo considerando suas entradas e saídas, onde:

- Os meses em que  $P-ET_o$  for  $< 0$ , para quantificar o armazenamento foi utilizada a equação 5;

$$ARM_n = CAD e^{-[N_{Ac}/CAD]} \quad (5)$$

Onde:

$ARM$ : armazenamento de água no solo (mm);

$CAD$ : capacidade de água disponível (mm);

$N_{Ac}$ : negativo acumulado (mm);

$n$ : mês de referência;

Com o  $ARM$  quantificado, foi possível determinar a variação de armazenamento de água no solo ( $ALT$ ), quanto o armazenamento de água no solo variou de mês a mês, sendo importante na determinação da evapotranspiração real e o excedente hídrico. Foi utilizada a equação (6) para calcular a alteração do armazenamento de água no solo:

$$ALT_n = ARM_n - ARM_{n-1} \quad (6)$$

Onde:

$ALT$ : variação de armazenamento de água no solo (mm);

$ARM$ : armazenamento de água no solo (mm);

$n$ : mês de referência do cálculo;

(n-1): mês anterior do mês de referência do cálculo;

Posteriormente foi calculada a evapotranspiração real (ETR), que seria a evapotranspiração que realmente ocorre em função da disponibilidade de água no solo. A ETR é utilizada para determinação do déficit hídrico, sendo que nos meses de deficiência hídrica sempre é inferior a evapotranspiração de referência. Foram consideradas as seguintes situações no cálculo da ETR:

- Os meses em que a P-ET<sub>o</sub> foi  $\geq 0$ , para a ETR foi adotado o mesmo valor da ET<sub>o</sub>;
- Os meses em que a P-ET<sub>o</sub> foi  $< 0$ , foi utilizada a equação 7 para determinar a ETR:

$$ETR_n = P_n + [ALT_n] \quad (7)$$

Onde:

ETR: evapotranspiração real (mm);

P: precipitação (mm);

ALT: variação de armazenamento de água no solo (mm);

n: mês de referência do cálculo;

Em seguida foi determinada a deficiência hídrica no solo (DEF), ou seja, quantidade de água que faltou no solo, pois a saída de água no solo foi maior que a quantidade que ficou retida, sendo utilizada a equação 8:

$$DEF_n = ET_{o_n} - ETR_n \quad (8)$$

Onde:

DEF: deficiência hídrica (mm);

ET<sub>o</sub>: evapotranspiração de referência (mm);

ETR: evapotranspiração real (mm);

n: mês de referência do cálculo;

Após a determinação do DEF foi quantificado o excedente de água no solo (EXC), ou seja, a quantidade de água que sobrou, que não foi aproveitada pela vegetação, que foi perdida por percolação ou escoamento superficial pois o solo atingiu sua capacidade máxima de retenção de água, em que:

- Os meses que tiveram o  $ARM < CAD$ , o valor adotado para o excedente hídrico foi 0;
- Os meses que apresentaram o  $ARM \geq CAD$ , foi utilizado a equação 9 para a quantificação do excedente;

$$EXC_n = (P-ET_o)_n - ALT_n \quad (9)$$

Onde:

EXC: excedente hídrico (mm);

P-ET<sub>o</sub>: diferença entre precipitação e evapotranspiração de referência (mm);

ALT: variação de armazenamento de água no solo (mm);

n: mês de referência do cálculo;

Os dados de precipitação e evapotranspiração foram inseridos no software Microsoft Excel para realizar o somatório mensal. A partir dos dados de capacidade de água disponível, precipitação, evapotranspiração de referência, negativo acumulado, armazenamento de água no solo, variação do armazenamento de água no solo e evapotranspiração real foi quantificado o déficit e excedente de água no solo do período estudo. Em seguida foi realizada a aferição do balanço, observando a exatidão dos cálculos utilizando as seguintes relações:

$$\Sigma P = \Sigma ET_o + \Sigma (P-ET_o);$$

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC;$$

$$\Sigma ET_o = \Sigma ETR + \Sigma DEF;$$

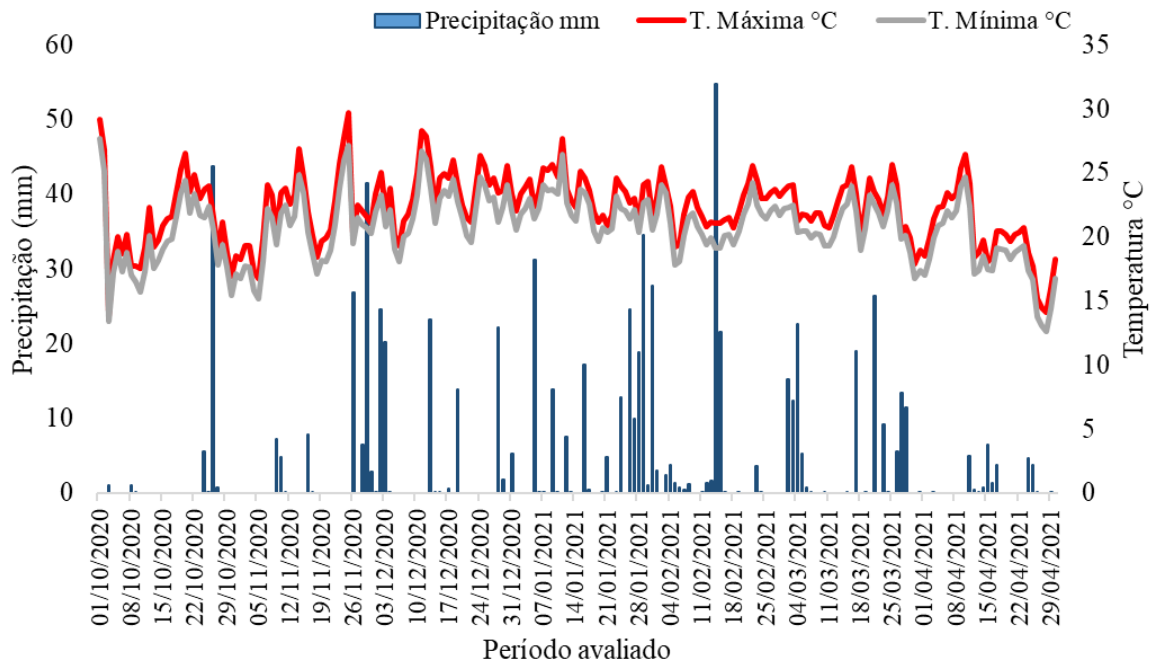
$$\Sigma ALT = 0;$$

Posteriormente foram gerados as tabelas e gráficos pelo software Excel que serão apresentados a seguir.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 está representada a variação da precipitação e temperatura no período de 01 de outubro de 2020 a 30 de abril de 2021.

**Figura 4:** Variação da precipitação e temperatura no município de Ibirubá do dia 01 de outubro de 2020 a 30 de abril de 2021.



*Fonte: Elaborado pelo autor (2023).*

Observa-se na figura anterior que nos meses de outubro a dezembro as temperaturas mínimas variaram de 13 °C a 27 °C e máximas de 13 °C a 29 °C. Nos meses de janeiro a março as temperaturas situaram-se na faixa de 18 °C a 28° C. No mês de abril as temperaturas começaram a diminuir principalmente a partir da segunda quinzena do mês. De acordo com Farias et al (2021), tem temperaturas inferiores a 20 °C no momento de semeadura, atrasam o processo de germinação-emergência. Temperaturas na faixa de 30 ° são ideais para o desenvolvimento da cultura.

O início do mês de outubro é caracterizado pelo baixo volume e distribuição irregular das precipitações, não havendo umidade no solo que possibilitasse a semeadura da cultura ou para as áreas semeadas uma boa germinação e emergência de plântulas.

Somente no final do mês houve uma precipitação com um volume significativo que possibilitou a semeadura da soja. Para o mês de novembro novamente o início do mês foi caracterizado com precipitações com baixos volumes de água, sendo que somente na segunda quinzena do mês as precipitações tiveram altos volumes de água, trazendo maior segurança aos produtores do município para semear a cultura.

Os meses de janeiro, fevereiro e março compreendem o período que normalmente a maioria das áreas de soja no município passam da fase vegetativa para fase reprodutiva, sendo que na fase reprodutiva a cultura aumenta sua demanda hídrica, pois após o início da floração

ela necessita de um volume maior de água para formar os legumes e posteriormente os grãos. Vale ressaltar que essa mudança de fase é dependente do fotoperíodo e do grupo de maturação relativa que varia entre as cultivares adotadas pelos produtores. Os meses de janeiro e março foram os dois meses durante o cultivo da soja no município que tiveram precipitações mais frequentes e com os maiores acumulados.

De acordo com Oliveira et al. (2021), a quantidade e distribuição das chuvas entre janeiro a março podem ser os principais fatores limitantes à produtividade da soja no Rio Grande do Sul. A colheita da soja normalmente ocorre na segunda quinzena de março e no mês de abril. Na segunda quinzena de março no município de Ibirubá são colhidas as áreas de soja semeadas mais cedo (outubro e início de novembro) e no mês de abril são colhidas as áreas onde a semeadura ocorreu na segunda quinzena de novembro e também. Observou-se que no mês de abril as precipitações tiveram distribuição irregular e baixo volume de água. Pensando na cultura da soja, é importante que não ocorra muitas precipitações no momento de colheita para não afetar a qualidade dos grãos.

O balanço hídrico climatológico seguindo a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955) do município de Ibirubá durante a safra de soja 2020/21 está representado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2020/21.

Mês	P	ETo	(P-ETo)	NAC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
(mm)									
<b>Out</b>	53	153	-100	-180	17	-28	81	72	0
<b>Nov</b>	98	159	-61	-241	9	-8	106	53	0
<b>Dez</b>	112	176	-64	-305	5	-4	116	60	0
<b>Jan</b>	206	146	+60	-43	65	60	146	0	0
<b>Fev</b>	97	133	-36	-79	45	-20	117	16	0
<b>Mar</b>	142	123	+19	-45	64	19	123	0	0
<b>Abr</b>	27	107	-80	-80	45	-19	46	61	0
<b>Σ</b>	735	997	-262	-	-	0	735	262	0

Observação: P=Precipitação; ETo=Evapotranspiração de referência; (P-ETo)=Diferença entre precipitação e evapotranspiração de referência; NAc=Negativo acumulado; ARM=Armazenamento de água no solo; ALT= Alteração de armazenamento de água no solo; ETR=Evapotranspiração real; DEF=Deficiência hídrica e EXC=Excedente hídrico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A safra 2020/21 foi caracterizada com precipitação total durante o período avaliado de 735 mm, onde as maiores precipitações mensais ocorreram nos meses de janeiro e março, 206 e 142 mm respectivamente. Por outro lado, no mês de abril ocorreram apenas 27 mm de precipitação. De acordo com Carvalho et al. (2013) a cultura da soja possui uma necessidade hídrica que varia entre 450 a 850 mm para obtenção de altas produtividades. Observou-se que no decorrer da safra a precipitação acumulada nos meses de cultivo da soja no município esteve dentro da necessidade da cultura.

Apesar de um significativo volume precipitado no período avaliado, observa-se a mal distribuição dessa precipitação. Sabe-se que a frequência e distribuição das precipitações devem ser regulares durante o desenvolvimento da soja. Souza (2019) descreve que a distribuição irregular das chuvas durante o ciclo da cultura da soja afeta a disponibilidade de água às plantas.

O município durante o período avaliado teve uma evapotranspiração de referência acumulada de 997 mm, com maior valor no mês de dezembro, 176 mm. O mês de abril apresentou o menor valor de evapotranspiração de referência, 107 mm.

Os meses de janeiro e março foram caracterizados por ter precipitado mais do que evapotranspirado, ao contrário dos meses de outubro, novembro, dezembro, fevereiro e abril, onde evapotranspirou mais do que precipitou.

Nos meses de outubro, novembro e dezembro a cultura da soja encontra-se no estágio vegetativo, as plântulas desenvolvem seu sistema radicular, emitem folhas unifolioladas, após o desenvolvimento inicial começam a emitir folhas trifolioladas e novos ramos até sua fase reprodutiva, nestes meses o armazenamento de água no solo foi muito baixo, principalmente nos meses de novembro e dezembro, que tiveram apenas 9 e 5 mm de água armazenada no solo, respectivamente.

Os meses de janeiro a abril, período compreendido pela mudança da fase vegetativa para a reprodutiva da cultura da soja, onde as plantas deixam de emitir novos ramos e trifólios para desenvolver legumes e grãos, o armazenamento de água no solo foi superior aos três meses anteriores.

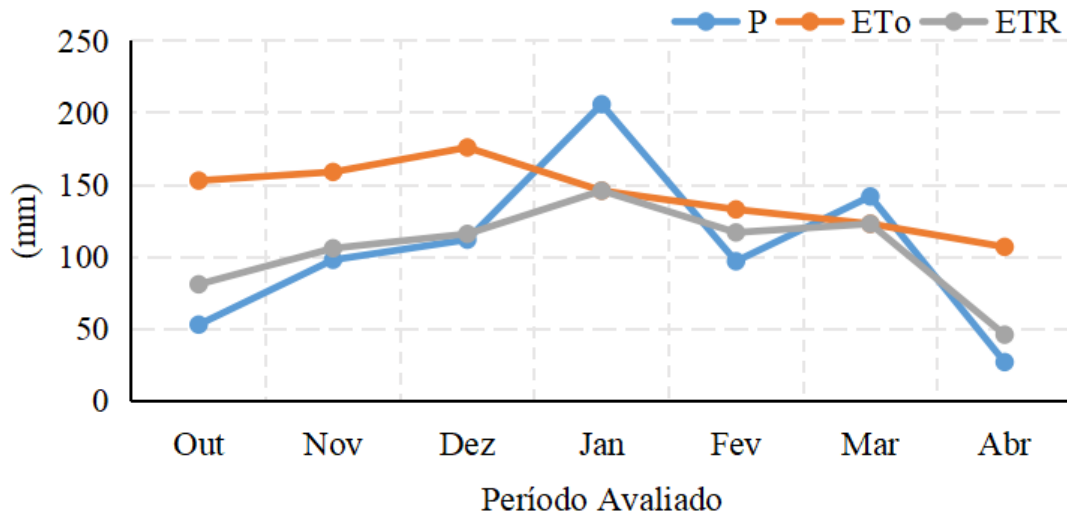
De acordo com Costa et al. (2015) o armazenamento de água no solo depende da sua textura, distribuição e tamanho dos poros e da estrutura do solo. Deve-se considerar que a maior parte da área cultivada com soja no Rio Grande do Sul é sob plantio direto e que, apesar dos benefícios, tem-se observado a ocorrência de compactação da camada superficial do solo devido ao tráfego de máquinas ou pisoteio do gado (SOUZA, 2019).



Os usos do solo que causam a sua compactação diminuem o armazenamento de água neste, pois o arrançamento das partículas sólidas do solo durante o processo de compactação faz com que o espaço poroso do solo sofra redução, diminuindo a infiltração de água no solo e a distribuição do sistema radicular da cultura (COSTA et al., 2015).

A Figura 5 demonstra a variação mensal da precipitação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real durante o período avaliado.

**Figura 5:** Variação da precipitação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real para o município de Ibirubá no decorrer da safra de soja 2020/2021.

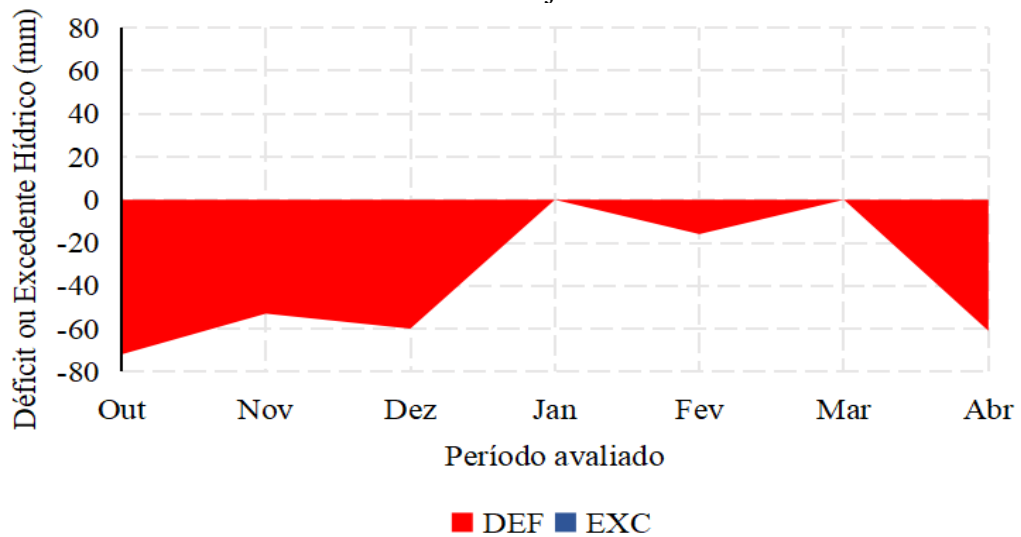


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O total acumulado da ETR chegou a 735 mm. Nos meses de janeiro e março em que a precipitação foi maior que a evapotranspiração, ou seja, não houve déficit hídrico, a evapotranspiração real foi a mesma que a de referência, a ETR foi inferior a ETo nos meses que a evapotranspiração de referência ultrapassou a precipitação mensal.

A Figura 6 demonstra os déficits e os excedentes hídricos do balanço hídrico climatológico durante a safra 2020/21.

**Figura 6:** Representação do balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2020/2021.



*Fonte: Elaborado pelo autor (2023).*

Na figura acima é possível observar que em nenhum mês houve excedente hídrico, mesmo com um alto acumulado de precipitação no período compreendido pelo cultivo da soja no município, pois em nenhum dos meses o armazenamento de água no solo atingiu a CAD. Quanto a deficiência hídrica, o BHC caracterizou 262 mm de déficit hídrico.

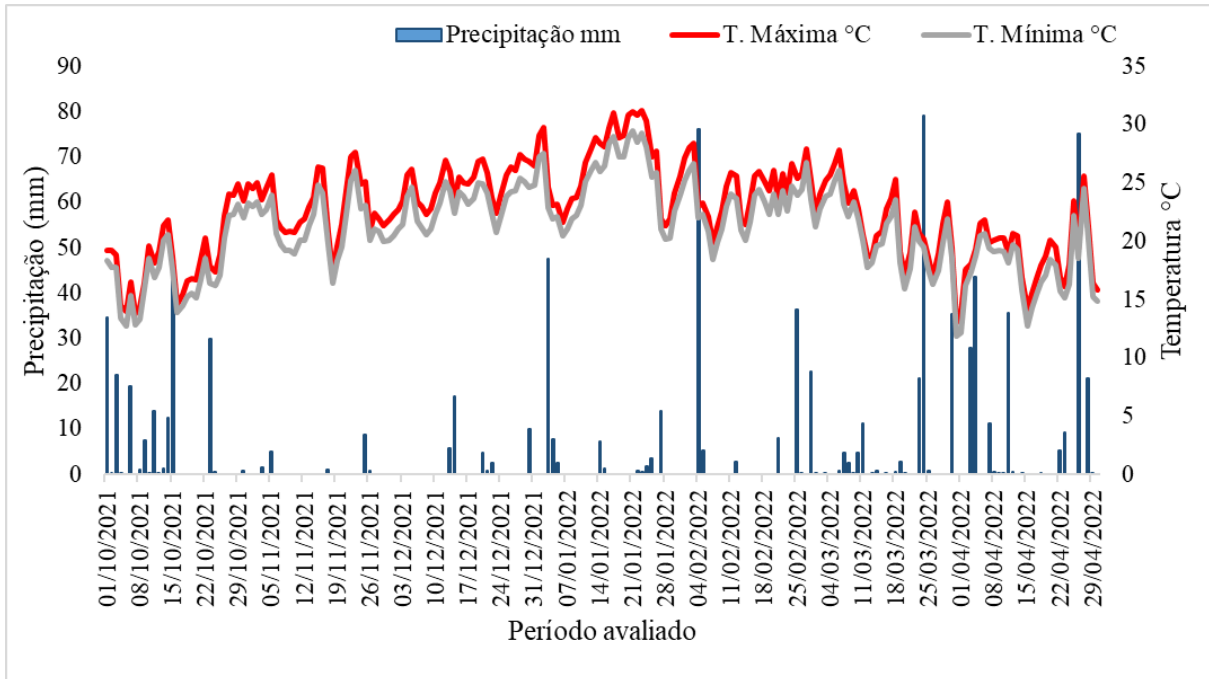
Analisando o período de semeadura da soja no município, que normalmente ocorre nos meses outubro a dezembro, observa-se que ocorreu um grande déficit hídrico, principalmente no mês de outubro, que teve o maior déficit de água no solo durante a safra 2020/21.

Os meses de janeiro e março não apresentaram deficiência de água no solo, pois o volume de água precipitado foi maior que o volume de água evapotranspirado. É de extrema importância que a cultura da soja nos estádios reprodutivos (florescimento e enchimento de grãos) não sofra com o estresse hídrico. Os efeitos do estresse hídrico na fase reprodutiva da soja segundo Gava et al. (2016) são abortamentos de flores, óvulos e legumes, posteriormente é afetado o tamanho dos grãos.

Com o balanço hídrico observou-se que somente o mês de fevereiro apresentou déficit hídrico no solo no período de florescimento e enchimento de grãos, pois o volume e frequência das precipitações foram inferiores em relação aos meses de janeiro e março. O mês de abril ficou caracterizado por ocorrer o segundo maior déficit hídrico mensal durante a safra 2020/21, devido a distribuição irregular e baixo acumulado mensal das precipitações.

A Figura 7 representa a variação da precipitação e temperatura no município de Ibirubá do dia 01 de outubro de 2021 a 30 de abril de 2022.

**Figura 7:** Variação da precipitação e temperatura no município de Ibirubá do dia 01 de outubro de 2021 a 30 de abril de 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na figura observa-se que nos períodos mais chuvosos tanto a temperatura máxima quanto a mínima foram inferiores em relação ao período de escassez de água. No período de maior escassez de chuvas as temperaturas máximas ultrapassaram a faixa de 30 °C e as temperaturas mínimas situavam-se na faixa de 20 °C a 25 °C. Segundo Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), altas temperaturas aliadas a escassez de água de água, intensificam a redução de produtividade da cultura da soja, principalmente no período de floração e enchimento de grãos. Temperaturas baixas na fase de maturação da cultura, associadas a períodos chuvosos ou alta umidade, causam atraso na maturação, e conseqüentemente atrasam a colheita.

Observando as precipitações, no mês de outubro elas tiveram frequência e distribuição um pouco mais uniforme, como também apresentou altos acumulados de precipitação. Os meses de novembro e dezembro, meses que também compreendem o período de semeadura da soja no município, apresentaram um cenário diferente em relação a outubro, tiveram uma distribuição muito irregular e acumulados muito baixos de precipitação, prejudicando o processo de semeadura e a germinação e emergência de plântulas. O desenvolvimento inicial

da cultura nas áreas que foram semeadas entre final de outubro e início de novembro foi severamente castigado pela escassez de água.

Além disso, a essa escassez de precipitações no mês de novembro ocasionou muita insegurança aos produtores para semear a cultura em um solo com baixa umidade, onde os mesmos optaram em atrasar a semeadura para o mês de dezembro, no entanto o mês de dezembro também ficou caracterizado pela distribuição irregular e baixos acumulados das precipitações. Assim, muitos produtores do município semearam a soja fora do período indicado pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para safra em questão. Segundo Silva e Aguila (2020), a época de semeadura determina a exposição da soja à variação dos fatores climáticos, portanto, semeaduras em épocas fora do período indicado podem afetar o porte, o ciclo e o rendimento de grãos.

Em virtude da ocorrência de severas estiagens que vem ocorrendo em algumas regiões do Rio Grande do Sul nas últimas safras de soja, o MAPA (2023) definiu seis classes de capacidade de água disponível para o ZARC da safra de soja 2023/24 para o RS, sendo elas as classes AD1, AD2, AD3, AD4, AD5 e AD6, com as capacidades de armazenamento 24 mm, 32 mm, 42 mm, 55 mm, 72 mm e 95 mm, respectivamente. Também passou a considerar a profundidade do sistema radicular da soja em 60 cm. Assim é caracterizado melhor os momentos de menor risco climático para a semeadura da cultura em cada município do Estado.

Os meses de janeiro, fevereiro e março também apresentaram uma distribuição muito irregular das precipitações, no entanto com exceção do mês de janeiro, os acumulados das precipitações foram altos.

No mês de abril observa-se que as precipitações tiveram uma distribuição mais regular em relação aos meses anteriores, como também altos acumulados. De acordo com Giasson (2015), o excesso de chuvas na colheita da soja atrasa a retirada do produto da lavoura, acelera o processo de deterioração e viabilidade das sementes e afeta negativamente a qualidade dos grãos.

O balanço hídrico climatológico do município de Ibirubá durante a safra de soja 2021/22 está representado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá da safra de soja 2021/22.

Mês	P	ETo	(P-ETo)	NAC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
(mm)									
<b>Out</b>	187	135	+52	0	100	0	135	0	52
<b>Nov</b>	17	167	-150	-150	22	-78	95	72	0
<b>Dez</b>	41	203	-162	-312	4	-18	59	144	0
<b>Jan</b>	86	202	-116	-428	1	-3	89	113	0
<b>Fev</b>	151	152	-1	-429	1	0	151	1	0
<b>Mar</b>	165	114	+51	-65	52	51	114	0	0
<b>Abr</b>	231	86	+145	0	100	48	86	0	97
<b>Σ</b>	878	1059	-181	-	-	0	729	330	149

Observação: P=Precipitação; ETo=Evapotranspiração de referência; (P-ETo)=Diferença de precipitação e evapotranspiração de referência; NAc=Negativo acumulado; ARM=Armazenamento de água no solo; ALT= Alteração de armazenamento de água no solo; ETR=Evapotranspiração real; DEF=Deficiência hídrica e EXC=Excedente hídrico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a safra 2021/22 foi caracterizada uma precipitação acumulada no período avaliado de 878 mm, atendendo a quantidade requerida pela cultura da soja e com 143 mm superior que o total acumulado de precipitações em relação à safra anterior, no entanto com uma distribuição muito irregular das precipitações.

Os meses com maior precipitação mensal foram outubro, mês que inicia a semeadura da soja no município de Ibirubá, e o mês de abril, que corresponde ao mês em que ocorre a colheita da soja. O período com menor precipitação ocorreu nos meses de novembro e dezembro, com apenas 17 mm e 41 mm de precipitação respectivamente.

A evapotranspiração de referência acumulada no período foi de 1059 mm, com maiores valores nos meses de dezembro e janeiro, 203 e 202 mm respectivamente. Comparando com a safra anterior, a safra 2021/22 teve uma evapotranspiração superior de 62 mm. O mês de abril apresentou o menor volume de evapotranspiração de referência.

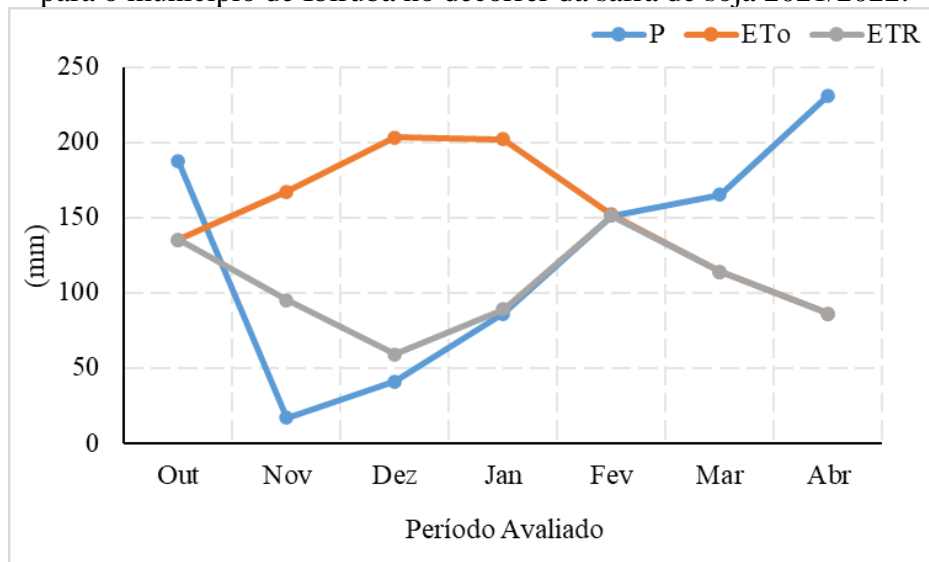
Nos meses de novembro a fevereiro a evapotranspiração de referência foi superior a precipitação, de maneira oposta aos meses de outubro, março e abril, onde a precipitação foi maior que a evapotranspiração.

De acordo com o balanço hídrico, o armazenamento de água no solo ficou bem distinto no decorrer da safra 2021/22. Nos meses de outubro e abril o armazenamento excedeu

a CAD do solo para o município de Ibirubá. Por outro lado, os meses novembro a março o armazenamento de água no solo foi muito baixo, principalmente durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, onde possuíram um armazenamento de água no solo muito próximo a zero.

Com o armazenamento de água no solo muito baixo, as fases vegetativa e reprodutiva da cultura da soja foram muito prejudicadas pela baixa disponibilidade de água às plantas. Quanto a evapotranspiração real durante o período avaliado, a Figura 8 representa a variação mensal da ETR junto a P e ETo.

**Figura 8:** Variação da precipitação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real para o município de Ibirubá no decorrer da safra de soja 2021/2022.

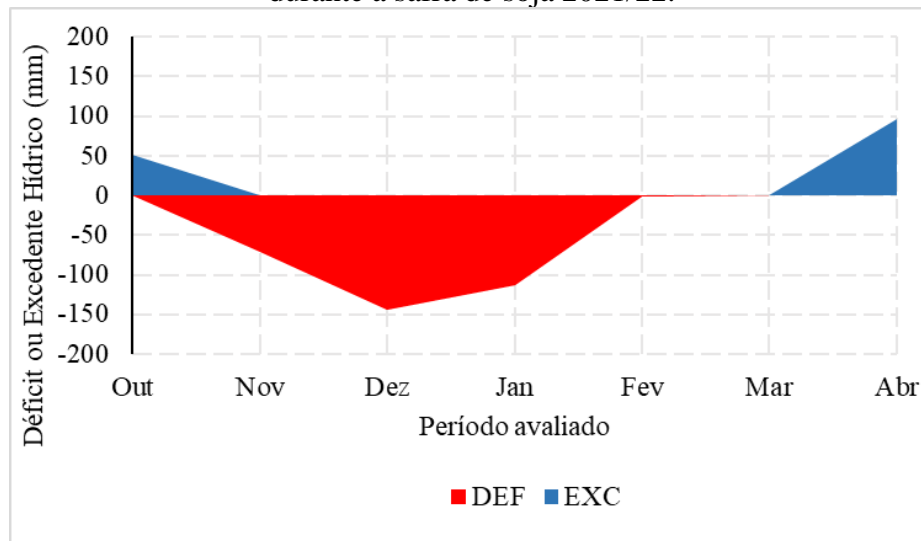


*Fonte: Elaborado pelo autor (2023).*

A evapotranspiração real durante o período avaliado teve um total acumulado de 729 mm. Observa-se na figura acima que os meses de outubro, março e abril ficaram caracterizados por precipitado mais do que evapotranspirado, assim a evapotranspiração real teve os mesmos valores da evapotranspiração de referência nestes três meses. Para os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro a evapotranspiração real foi inferior a evapotranspiração de referência, pois a precipitação foi inferior a evapotranspiração de referência.

A Figura 9 representa os déficits e excedentes de água no solo do balanço hídrico climatológico do município de Ibirubá durante a safra de soja 2021/22.

**Figura 9:** Representação do balanço hídrico climatológico para o município de Ibirubá durante a safra de soja 2021/22.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O acumulado do excedente hídrico durante o cultivo da cultura da soja no município de Ibirubá foi de 149 mm. Na figura acima observa-se que o excedente hídrico ocorreu nos meses de outubro e abril, pois o armazenamento de água no solo nesses dois meses excedeu a capacidade de água disponível do solo.

O déficit de água no solo ocorreu nos meses de novembro a fevereiro, com um total de 330 mm de déficit. Comparado a safra anterior, a safra 2021/22 apresentou superioridade de 68 mm de déficit hídrico. O mês de dezembro ficou caracterizado com o maior déficit hídrico mensal. Mesmo a precipitação mensal ser menor em novembro comparado a precipitação mensal de dezembro, o déficit hídrico foi menor em novembro pois o mês de outubro teve excesso de água no solo, adentrando ao mês de novembro o solo ainda possuía alguma umidade.

Analisando o período de florescimento e enchimento de grãos, que normalmente ocorre de janeiro a março, observa-se que janeiro apresentou um acentuado déficit hídrico. O mês de fevereiro apresentou somente 1 mm deficiência hídrica. O mês de março não apresentou deficiência de água no solo, pois a precipitação do mês foi maior que sua evapotranspiração, como também não apresentou excedente de água no solo pelo fato do mês de fevereiro possuir um armazenamento de água no solo muito baixo, não contribuindo para que o armazenamento de março excedesse a CAD.

Resultados semelhantes foram encontrados por Schaparini et al. (2019), no qual realizou um balanço hídrico climatológico para o município de Carazinho, RS, entre os meses de outubro a março das safras de soja 2015/16, 2016/17 e 2017/18. O balanço hídrico foi

determinado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) e a ETP foi estimada pelo método de Penam-Monteith. A CAD utilizada foi de 150 mm, 50 mm a mais que a capacidade de água disponível adotada neste trabalho.

O BHC realizado por Schaparini et al. (2019) caracterizou déficit hídrico na safra 2015/16 no mês de janeiro. Na safra 2016/17 o déficit hídrico ocorreu no final do mês de dezembro e entre o final do mês de janeiro e início de fevereiro. A safra 2017/18 apresentou um período muito pequeno de déficit hídrico, somente na segunda quinzena de janeiro.

Observa-se que o déficit hídrico durante as três safras coincidiu com alguns períodos de deficiência hídrica que foram caracterizados nas safras 2020/21 e 2021/22, principalmente no período que a cultura da soja se encontra na fase de maior necessidade hídrica.

Observando a produção de soja, o que justifica a produção ser superior na safra 2020/21 em comparação a safra 2021/22 no estado do Rio Grande do Sul e no município de Ibirubá, é que no momento de estabelecimento da cultura não houve problemas graves por umidade muito baixa no solo, atrasando o processo de semeadura, como ocorreu na safra 2021/22.

Relacionando o balanço hídrico climatológico das suas safras de soja no município de Ibirubá com o período de maior necessidade hídrica da cultura da soja (florescimento-enchimento de grãos), que normalmente ocorre nos meses de janeiro, fevereiro e março, observou-se que a safra 2020/21 teve menor déficit hídrico neste período que a safra 2021/22. A distribuição das precipitações durante o cultivo da cultura no município foi um pouco mais regular na safra 2020/21 em comparação a safra posterior, no qual estas circunstâncias justificam a superioridade da produção da soja da safra 2020/21 em relação à safra 2021/22 no município e região.



### 3. CONCLUSÃO

Com a realização do presente trabalho foi possível caracterizar o balanço hídrico climatológico como uma ótima ferramenta para o conhecimento dos períodos de maior risco climático no que tange a respeito sobre déficit ou excedente hídrico, sendo uma ferramenta importante para o planejamento agrícola.

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram conhecer a distribuição da precipitação, a quantidade de água evapotranspirada, o armazenamento de água no solo durante duas safras de soja distintas no município de Ibirubá, como também identificar os meses que possuíam déficit ou excedente hídrico. Sendo possível servir como referência para os produtores da região para se programarem nas atividades agrícolas relacionadas com a cultura da soja.

O balanço hídrico climatológico demonstrou que não é suficiente as precipitações atingirem as necessidades hídricas da cultura da soja se elas não ocorrerem com frequência e distribuição uniforme durante seu desenvolvimento, principalmente nos períodos de maior necessidade hídrica.

Além disso, destaca-se a importância de aumentar o acúmulo de água no solo, para amenizar os efeitos das estiagens, intensificando a utilização de práticas de manejo conservacionistas do solo que visam aumentar a infiltração de água no solo.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. H. C. VIDAL, **Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões nordeste e sul do Brasil.** Orientador: José Gustavo Féres, 2012. 55 f. Dissertação (Pós-graduação em *Magister Scientiae*), Universidade Federal de Viçosa, 2012. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/68/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2023.
- ALENCAR, L. P. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub> padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, jan./fev. 2015. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p39-50/2015>>. Acesso em: 02 mai. 2022.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 8<sup>a</sup> ed.- Viçosa: Ed. UFV, 625p, 2013.
- BORGES, L. C.; HERNADEZ, F. B. T.; FAUVEL, J. M. P. **Balço hídrico como ferramenta para o planejamento da irrigação em Cassilândia – MS.** XXX CONIRD Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, dez. 2021. Disponível em: <[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/inovagri\\_2021\\_borges\\_b\\_hidrico\\_cassilandia.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/inovagri_2021_borges_b_hidrico_cassilandia.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2022.
- CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio soja.** USP/ESALQ – Departamento de Produção Vegetal, 2015. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4484510/mod\\_resource/content/0/LPV%200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4484510/mod_resource/content/0/LPV%200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2022.
- CARVALHO, I. R. et al. **Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo.** **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p.969, 2013. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/DEMANDA%20HIDRICA.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- CECÍLIO, R. A. et al. **Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.47, n.4, p.478-488, abr. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400002>>. Acesso em: 13 mai. 2022.
- COLLISCHONN, B; TUCCI, C. E. M. **Relações Regionais entre Precipitação e Evapotranspiração Mensais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19 n.3, p.205-214, jul./set. 2014. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/168/b3c45a301ee86434582e4df19d6e7586\\_bbc603a569cf8bb1a2f44da509bbb8e4.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/168/b3c45a301ee86434582e4df19d6e7586_bbc603a569cf8bb1a2f44da509bbb8e4.pdf)>. Acesso em: 19 mai. 2022.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira.** Grãos, safra 2021/22, 12<sup>o</sup> levantamento, 2022. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra>>. Acesso em 17 mai. 2023.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de PenmanMonteith-FAO**. Embrapa, Bento Gonçalves – RS, dez. 2006. Disponível: <<https://www.researchgate.net/publication/322506671>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

COSTA, C. D. O. et al. **Capacidade de armazenamento de água dos solos sob processo de degradação em uma sub-bacia hidrográfica**. XXXV Congresso Nacional de Ciência do Solo, Natal – RN, ago. 2015. Disponível em: <<https://www.sbc.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2523.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CUNHA, G. R. **El Niño/La Niña – Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações**. Revista Plantio Direto, p.18-22, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44129/1/el-nino.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Embrapa, Londrina, PR, 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Soja: temperatura**. Embrapa Soja. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A. **Deficiência hídrica da cultura da soja na região Dourados, MS**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.2, p.262-265, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200014>>. Acesso em: 03 mai. 2022.

FREITAS, M. C. M. **A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.12, maio 2011. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2022.

GAVA, R. et al. **Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 10, n. 3, p. 305-315, set. 2016. Disponível em: <<https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/download/427/298/1397>>. Acesso em: 09 jun. 2023.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine Max, (L.) Merrill)**. Orientador: José Antonio Frizzone. 2014. 124 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014. Disponível em<[10.11606/T.11.2014.tde-15092014-113209](https://repositorio.fca.unesp.br/bitstream/handle/11362/113209)>. Acesso em: 05 jun. 2022.

GIASSON, N. F. **Métodos de seleção de genótipos de soja para tolerância a chuva na pré-colheita**. Orientador: Paulo Dejalma Zimmer. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Sementes), Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2015. Disponível em: <[http://www.guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/4537/1/dissertacao\\_nizio\\_fernando\\_giasson.pdf](http://www.guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/4537/1/dissertacao_nizio_fernando_giasson.pdf)>. Acesso em 14 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Ibirubá**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/ibiruba/panorama>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Médias climatológicas**. IRGA. 2022. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

JESUS, T. C. L. **Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO2 no balanço hídrico do Cerrado**. Orientador: Mônica Carneiro Alves Senna. 2015. 76 f. Dissertação (Curso de Engenharia de Biossistemas) – Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. Niterói, RJ, 2015. Disponível em <[http://www.pgeb.uff.br/pgeb/documentos/publicacoes/D/D\\_publicacao\\_2017.03.17-12.03.59.pdf](http://www.pgeb.uff.br/pgeb/documentos/publicacoes/D/D_publicacao_2017.03.17-12.03.59.pdf)>. Acesso em: 09 mai. 2022.

MAEHLER, A. R. et al. **Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas**. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.3, p. 973-982, fev. 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200009>>. Acesso em: 05 jun. 2022.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 3ª ed. Viçosa. Ed. UFV, 2012. 355 p. ISBN 9788572693738.

MARQUELLI, W. A. et al. **Manejo de água de irrigação**. Embrapa, Brasília, DF, cap. 5, p. 158 – 232, 2011. Disponível em <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/915574>>. Acesso em: 04 jun. 2022.

MATOS, R. M. **Potencial agroclimático para a cultura da mangueira no município de Barbalha - CE**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 12, n. 1, p. 2366 – 2373, 2018.a. Disponível em: < 10.7127/rbai.v12n100732>. Acesso em: 04 mai. 2022.

MATOS, R. M. et al. **Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, CE, v.8, n.6, p.422-431, 2014. Disponível em < DOI: 10.7127/rbai.v8n600240>. Acesso em: 08 mai. 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático para cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul safra 2021/22**. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/riscosseguro/programanacionaldezoneamentoagricola-derisoclimatico/portarias/safravigente/riograndedosul/word/PORTN261SOJARS.pdf>>. Acesso em 17 de maio de 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático para cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul safra 2023/24**. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscosseguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safravigente/rio-grande-do-sul/PORTN87SOJARS.retif.pdf>>. Acesso em 10 de junho de 2023.

MONTEIRO, R. N. F. et al. **Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o município de Groaíras-CE**. Embrapa, 2011. Disponível: <

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/910333/balanco-hidrico-climatologico-e-classificacao-climatica-de-thornthwaite-para-o-municipio-de-groairas-ce> >. Acesso: 08 mai. 2022.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p. ISBN 978-85-62817-00-7.

MUSEU DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL. **Solos do Rio Grande do Sul**. UFSM, 2022. Disponível em: < <https://www.ufsm.br/museus/msrs/unidade-de-solos> >. Acesso em: 15 jun. 2022.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. **Características da soja**. Embrapa Soja. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja> >. Acesso em: 02 jun. 2023.

OLIVEIRA, Z. B. et al. **Estimativa da demanda hídrica da soja utilizando modelo de balanço hídrico do solo e dados da previsão do tempo**. Irriga, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 492-507, jul./set. 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p492-507> >. Acesso em: 03 jun. 2022.

OLIVEIRA, Z. B. et al. **Influência da irrigação suplementar na produtividade de cultivares de soja para a safra e safrinha 2018-19 e 2019-20 na região central do RS**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.2, p. 15580-15595, fev. 2021. Disponível em: < [10.34117/bjdv7n2-263](https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-263) >. Acesso em: 01 jun. 2023.

ONGARATTO, J. M.; BORTOLIN, T. A. **Comparação entre os métodos de evapotranspiração de referência no município de São José dos Ausentes (RS), Brasil**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v.26, n.5, p.979-987, set./out. 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190196> >. Acesso: 25 mai. 2022.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, SP, fev. 2007. Disponível em: < [http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola\\_Apostila2007.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf) >. Acesso em: 11 mai. 2022.

PEIXOTO, C. P. **Princípios de Fisiologia vegetal**. 1 ed. – Rio de Janeiro: Pod, 2020. 256 p. ISBN 9786586147216.

PICCOLI, E. **A importância da soja para o agronegócio**: Uma análise sob o enfoque do aumento da produção de agricultores no Município de Santa Cecília do Sul. Orientador: Cassiano Tiago Lumi. 2018. 46 f. Trabalho apresentado como requisito para aprovação na disciplina TCC, FAT – Faculdade e Escola, Curso Administração, Tapejara, 2018. Disponível em: < <https://www.fatrs.com.br/faculdade/uploads/tcc/d464ec1e2f2c450aa33bb0e990b54878.pdf> >. Acesso em: 30 mai. 2022.

RAUBER, M. J. **Estimativa da retenção e disponibilidade de água para os solos do Rio Grande do Sul**. Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser. 2019. 66 f. Trabalho apresentado como

requisito para aprovação na disciplina TCC (Curso de Agronomia), Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo, Cerro Largo, 2019. Disponível em: < <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3464> >. Acesso em: 09 jun. 2022.

RÊGO, W. S.; SORRENTINO, T. A. **Estimativa das incidências de radiação direta e difusa em superfície horizontal em Mossoró-RN.** Universidade Federal rural do semiárido – UFERSA. Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2020. Disponível em:< [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5891/1/WalkerlanSR\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5891/1/WalkerlanSR_ART.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2022.

REIS, G. Q. **Balço hídrico normal e da sucessão soja-milho da bacia do rio Caiabi.** Orientador: Frederico Terra de Almeida. 2016. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia), Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, Sinop, 2016. Disponível em: < <http://bdm.ufmt.br/handle/1/736>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ROMANI, L.A.S. et al. **Sistema de monitoramento agrometeorológico - Agritempo: inovação em rede apoiando políticas públicas e a tomada de decisão agrícola.** Agrometeoros, Passo Fundo, v. 24, n. 1, p. 29-40, out. 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v24i1.24879>>. Acesso em: 02 mai. 2022.

SANTOS, C. N. **El Niño, El Niña e a Erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul.** Orientador: Marta Elena Gonzales Mendez. 2008. 144 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia), Universidade de Pelotas, 2008. Disponível em: < <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/4925>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. **Balço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo.** Revista Brasileira Agricultura Irrigada, Fortaleza, CE, v. 4, n.º. 3, p. 142-149, 2010. Disponível em: < [https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/rbai\\_v4\\_n3\\_p142\\_149\\_bh.pdf](https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/rbai_v4_n3_p142_149_bh.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2022.

SANTOS, R. A.; NETO, L. P. G.; SANTOS, R. L. **Avaliação e ajuste de métodos alternativos de estimativa da Evapotranspiração de Referência a partir a equação de Penman-Monteith-Fao56, em Feira De Santana-Ba.** XXI Seminário de Iniciação Científica, 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.13102/semic.v0i21.2252>>. Acesso em: 19 mai. 2023.

SCHARPARINI, L. P. et al. **Análise de Índices de Vegetação e sua relação com o balanço hídrico.** Agrometeoros, Passo Fundo, v.27, n.1, p.183-190, set 2019. Disponível em: <[dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26574](https://doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26574)>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SCHIAFFINO, J. R. **Viabilidade do cultivo de soja irrigada por pivô central em uma propriedade de Dom Pedrito/RS.** Orientador: Nelson Ruben de Mello Balverde. 2018. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, 2018. Disponível em: < <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/4253>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

SCHWANTES, A. P. **Armazenamento de água no solo de uma cultura de soja medido por tensiômetros de polímero e estimado por diferentes métodos agrometeorológicos.**

Orientador: Klaus Reichardt. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <doi:10.11606/D.11.2013.tde-20032013-145717>. Acesso em: 07 mai. 2023.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Balço Hídrico climatológico normal e sequencial de cultura e para manejo de irrigação**. ESALQ/USP, 2012. 40 slides, color. Disponível em: < [http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula9\\_2012.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula9_2012.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SEIXAS, C. D. S. et al. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, jun. 2020. 347 p. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-1.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SILVA, F. et al. **Soja: do plantio à colheita**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2022. 35 p. ISBN 9786586235531.

SILVA, S. M.; AGUILA, L. S. H. **A importância da época de semeadura para o sucesso da cultura da soja**. XXIX Congresso de iniciação científica. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020. Disponível em: <[https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2020/CA\\_00541.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2020/CA_00541.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SOUZA, A. P. et al. **Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso**. Pesquisas Agrárias e Ambientais. Nativa, Sinop, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 2013. Disponível em: < 10.31413/nativa.v1i1.1334>. Acesso em: 08 mai. 2022.

SOUZA, I. J. **Influência da irrigação suplementar no desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em Cachoeira do Sul**. Orientador: Zanandra Boff de Oliveira. 2019. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul. Cachoeira do Sul, 2019. Disponível em:< <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/19275>>. Acesso em: 25 mai. 2023.

SOUZA-JUNIOR, M. A.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Monitoramento de estiagem na região sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2010. Disponível em: < <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.07.16.56/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. **Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade**. Revista Científica Eletrônica de XIX da FAEF, v.35, n.1, jun.2019. Disponível em: < [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/hw9EU5Lusw7rZZH\\_2019-6-19-14-11-1.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/hw9EU5Lusw7rZZH_2019-6-19-14-11-1.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2022.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, fev. 2017. Disponível em: < [https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf\\_irrigacao\\_metodos\\_sistemas\\_aplicacoes\\_2017.pdf](https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf)>. Acesso em: 04 mai. 2022.

VIDAL, T. **Balço hídrico climatológico para o cultivo de soja (*Glycine max sp.*) na bacia hidrográica do rio Urussanga, frente ao cenário de climas futuros.** Orientador: Michel Nobre Muza. 2022. 54 f. Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente), Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <

<https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2733/Disserta%20Thiago%20Vidal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 11 mai. 2022.

VILLA, B. et al. **Balço hídrico climatológico: uma revisão.** Research, Society and Development, v.11, n.6, mai. 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/11.33448/rsd-v11i6.26669>>. Acesso: 04 mai. 2022.

VINHAL-FREITAS, I. C. **Germinação e vigor de sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos.** Agropecuária técnica, v. 32, n. 1, p. 108-114, 2011. Disponível:<<https://doi.org/10.25066/agrotec.v32i1.9567>>. Acesso em 03 mai. 2022.

ZAMBIAZZI, E. V. **Desempenho agronômico e qualidade sanitária de sementes de soja em resposta à adubação potássica.** Revista de Ciências Agrárias, v. 40, n. 3, p. 543-553. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.19084/RCA16055>>. Acesso em: 02 mai. 2022.