

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Gabriel Miritz

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES CULTIVARES DE  
SOJA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA E REGIME  
HÍDRICO EM CACHOEIRA DO SUL - RS**

Cachoeira do Sul, RS  
2022

Gabriel Miritz

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA EM  
FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA E REGIME HÍDRICO EM CACHOEIRA  
DO SUL - RS**

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

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Cachoeira do Sul, RS  
2022

**Gabriel Miritz**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA  
EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA E REGIME HÍDRICO EM  
CACHOEIRA DO SUL - RS**

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

Aprovado em 13 de dezembro de 2022:

---

**Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Alberto Eduardo Knies, Dr. (Uergs)**

---

**Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)**

Cachoeira do Sul, RS  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

Esse trabalho só foi realizado devido diversas pessoas que estão ao meu redor e que foram muito importantes não só durante a jornada acadêmica, mas também além dela e, por isso, gostaria de agradecer:

- aos meus pais Luiz Antonio Miritz e Edina Miritz, assim como meus irmãos Alexandre Miritz e Suzane Miritz, por sempre me incentivarem a correr atrás das minhas ambições e ajudando o máximo possível;

- à minha orientadora Zanandra Boff de Oliveira, pela confiança, oportunidade, amizade e, principalmente, pela paciência que teve buscando passar o conhecimento para seus alunos;

- aos amigos que compõem o GEPAB - Grupo de Ensino e Pesquisa em Ambiente e Biometeorologia (UFSM), que sem eles, provavelmente não existiria esse trabalho;

- à equipe do GEPASA – Grupo de Ensino e Pesquisa em Manejo Integrado da Água e Solo na Agricultura (UERGS), pela parceria para realização da parte de campo desenvolvida nesta pesquisa;

- à todos os professores que tive o privilégio de ser aluno durante o Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM Campus Cachoeira do Sul, todos foram de suma importância e agregaram muito à minha formação, tanto acadêmica quanto pessoal;

- à Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, pelo ensino gratuito e de qualidade, pela oportunidade de desenvolver este estudo e proporcionar minha formação acadêmica;

- à todos amigos que fiz durante essa jornada, que essa amizade continue mesmo após a conclusão desse ciclo.

## **RESUMO**

## **DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA E REGIME HÍDRICO EM CACHOEIRA DO SUL - RS**

AUTOR: Gabriel Miritz

ORIENTADORA: Zanandra Boff de Oliveira

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico de diferentes cultivares de soja em função da época de semeadura e regime hídrico em Cachoeira do Sul – RS. O experimento de campo foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, no esquema fatorial (2x3x4). O primeiro fator constitui de dois regimes hídricos: irrigado e sequeiro. O segundo fator constitui de três cultivares de soja com distintos GMR (grupo de maturação relativo): BMX GARRA (GMR 6.3), ND 5445 (GMR 5.4) e BMX RAIIO (GMR 5.0). O terceiro fator constitui de quatro épocas de semeadura da soja: 23 de outubro de 2019, 19 de novembro de 2019, 19 de dezembro de 2019 e 16 de janeiro de 2020. Realizou-se as irrigações por meio de aspersores convencionais e o manejo da irrigação com base no balanço hídrico do solo. Fez-se o monitoramento de variáveis morfofisiológicas ao longo do ciclo de desenvolvimento e a determinação da produtividade e componentes de rendimento no final do ciclo. O ano agrícola de 2019-20 teve como características a baixa quantidade e a distribuição irregular das chuvas, demandando da irrigação suplementar de 150 a 180 mm que proporcionaram incrementos positivos na produtividade da soja em média de 45%. A soja irrigada foi menos influenciada pela época de semeadura que a soja de sequeiro, com a redução da produtividade de aproximadamente 24 kg dia<sup>-1</sup> (irrigada) e de 31 kg dia<sup>-1</sup> (sequeiro) com o atraso da semeadura de 23 de outubro para 16 de janeiro. Os valores de produtividade foram muito similares entre as cultivares no regime hídrico irrigado para as três primeiras épocas de semeadura (>4000 kg ha<sup>-1</sup>) e na quarta época se sobressaiu a cultivar BMX RAIIO. Já, para o regime hídrico de sequeiro para as semeaduras a partir de novembro, deve-se avaliar a resposta produtiva da cultivar, pois a cultivar BMX GARRA apresentou melhores resultados para as duas últimas épocas e a cultivar BMX RAIIO para a segunda época.

**Palavras-chave:** Semeadura. Irrigação. Produtividade.

**ABSTRACT**

## **AGRONOMIC PERFORMANCE OF DIFFERENT SOYBEAN CULTIVARS DUE TO SOWING SEASON AND WATER SYSTEM IN CACHOEIRA DO SUL – RS**

**AUTHOR:** Gabriel Miritz  
**ADVISOR:** Zanandra Boff de Oliveira

The present study aims to evaluate the agronomic performance of different soybean cultivars as a function of sowing time and water regime in Cachoeira do Sul - RS. The field experiment was carried out in a randomized block design with split plots, in a factorial scheme (2x3x4). The first factor comprises two water regimes: irrigated and rainfed. The second factor consists of three soybean cultivars with different GMR (relative maturation group): BMX GARRA (GMR 6.3), ND 5445 (GMR 5.4) and BMX RAIIO (GMR 5.0). The third factor consists of four soybean sowing dates: October 23, 2019, November 19, 2019, December 19, 2019 and January 16, 2020. Irrigations were carried out using conventional sprinklers and the management of irrigation based on soil water balance. The morphophysiological variables were monitored throughout the development cycle and productivity and yield components were determined at the end of the cycle. The 2019-20 agricultural year was characterized by the low amount and irregular distribution of rainfall, requiring supplementary irrigation from 150 to 180 mm, which provided positive increases in soybean productivity by an average of 45%. Irrigated soybeans was less influenced by sowing season than rainfed soybeans, with a yield reduction of approximately 24 kg day<sup>-1</sup> (irrigated) and 31 kg day<sup>-1</sup> (rainfed) with the delay of sowing from October 23 to January 16. The yield values were very similar between the cultivars in the irrigated water regime for the first three sowing dates (>4000 kg ha<sup>-1</sup>) and in the fourth season the cultivar BMX RAIIO stood out. However, for the rainfed water regime for sowing from November, the productive response of the cultivar should be evaluated, since the cultivar BMX GARRA showed better results for the last two seasons and the cultivar BMX RAIIO for the second season.

**Keywords:** Sowing. Irrigation. Productivity.

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1 – Resultado de temperatura e radiação solar global para o período de condução do experimento. Cachoeira do Sul, 2022.....	14
FIGURA 2 – Balanço hídrico para a cultura da soja em quatro épocas de semeadura no ano agrícola 2019-20. Cachoeira do Sul, 2022.....	15

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – Resultado da caracterização físico-hídrica do solo da área experimental realizada em 2019. Cachoeira do Sul, 2022.....	12
TABELA 2 – Componentes do balanço hídrico da cultura da soja em quatro épocas de semeadura no ano agrícola 2019-20. Cachoeira do Sul, 2022.....	16
TABELA 3 – Resumo da análise da variância para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul, 2022.....	17
TABELA 4 – Resultado do IAF, altura de plantas, vagens planta <sup>-1</sup> , grãos vagem <sup>-1</sup> , PMG e produtividade da soja irrigada e de sequeiro, para quatro épocas de semeadura e três cultivares no ano agrícola 2019-20. Cachoeira do Sul, 2022.....	18
TABELA 5 – Equações de regressão e coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> ) para altura de plantas, IAF, vagens planta <sup>-1</sup> , grãos vagem <sup>-1</sup> , PMG e produtividade da soja irrigada e de sequeiro para três diferentes cultivares. Cachoeira do Sul, 2022.....	19

## SUMÁRIO



<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	11
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	14
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	21
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	22

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo a CONAB (2020), a produção mundial de soja na safra 2019/20 foi de 337,14 milhões de toneladas. A contribuição brasileira foi de 124,84 milhões de toneladas, sendo 11,44 milhões colhidos no Rio Grande do Sul, ficando assim em quarto lugar na produção nacional, atrás de Mato Grosso, Paraná e Goiás. Quanto à área cultivada, o Rio Grande do Sul contribuiu com 5,9 milhões de hectares, sendo a segunda maior área de cultivo do Brasil, ficando atrás somente do estado do Mato Grosso, que cultivou uma área de 10 milhões de hectares com soja, e o total do país foi de 36,8 milhões de hectares. Já em relação à produtividade, o Rio Grande do Sul registrou o menor valor do país, com a média de 1839 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto a média geral do Brasil foi de 3269 kg ha<sup>-1</sup>.

Para Santos et al. (2017), a produtividade e qualidade dos grãos de soja são afetadas por duas classes de fatores: os genéticos, onde se encontram as características da soja, a adaptação ao ambiente e sua resistência a herbicidas, pragas e doenças; e os ambientais, que são os fatores edáficos e climáticos. Ainda, é citado que existem diversas técnicas que influenciam tanto na expressão do potencial genético, quanto na produtividade e qualidade da cultura, sendo algumas delas: escolha da variedade, devendo ser consideradas a região de cultivo, a qualidade dos grãos e o ciclo da cultura para a definição da variedade a ser utilizada; escolha da época de semeadura, respeitando a época que apresente as condições climáticas adequadas; definição da população de plantas, evitando tanto o excesso, que pode ocasionar o acamamento das plantas e aumento de gastos, quanto a escassez, pois favorece o desenvolvimento de plantas daninhas e pode ocorrer plantas baixas com muitas ramificações.

Silva et al. (2020) cita que, o principal fator que ocasiona a quebra da produtividade da soja no Brasil é o déficit hídrico, principalmente quando ocorrido nos períodos da semeadura à emergência e no enchimento de grãos, considerados períodos críticos. Visando evitar as perdas de produtividade por estresse hídrico, o Brasil possui o zoneamento agrícola de risco climático, onde é possível identificar as datas e locais de cultivo preferenciais para a cultura, porém apresenta como principal limitação o estabelecimento da aptidão e período de semeadura sem considerar a produtividade da cultura como resultado final, pois adota como base somente a satisfação das necessidades hídricas. Ainda é citado um exemplo de modelo de simulação que leva em consideração a produtividade final, sendo ele o modelo da Zona Agroecológica (FAO-MZA), que auxilia a determinação de estratégias de manejo, como a interação entre data de semeadura e manejo de irrigação.

A técnica da irrigação vem sendo estudada para ser utilizada mesmo em períodos de chuva, onde o total precipitado seria o suficiente para a cultura, porém por poder não ser distribuído conforme o necessitado, pode ocorrer um déficit hídrico durante os períodos críticos

da cultura, e, afim de evitar perdas, nesses momentos seria utilizada a irrigação suplementar (JUSTINO et al., 2019). Para Battisti et al. (2018), a causa do insucesso em diversas lavouras que resultam em baixa eficiência produtiva se dá pela falta de conhecimento das interações entre solo-planta-atmosfera, juntamente com o uso irracional da água, e, devido à isso, deve-se fazer da maneira correta o manejo de irrigação durante o cultivo.

Com isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agronômico de diferentes cultivares de soja em função da época de semeadura e regime hídrico em Cachoeira do Sul – RS.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, localizado no município de Cachoeira do Sul, distrito de Três Vendas (29°53' S e 53°00' W, altitude de 125 m). Köppen classifica o clima da região como subtropical úmido, Cfa, predominante na região Sul. A EMBRAPA (2013), classifica o solo da área como Argissolo Vermelho distrófico típico.

O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, no esquema fatorial (2x3x4), com quatro repetições. O primeiro fator constitui de dois regimes hídricos: irrigado e sequeiro. O segundo fator constitui de três cultivares de soja com distintos GMR (grupo de maturação relativa): BMX GARRA (GMR 6.3), ND 5445 (GMR 5.4) e BMX RAIIO (GMR 5.0). O terceiro fator constitui de quatro épocas de semeadura da soja: 23 de outubro de 2019, 19 de novembro de 2019, 19 de dezembro de 2019 e 16 de janeiro de 2020.

Foi utilizado um conjunto trator-semeadora para a realização da semeadura, no sistema plantio direto, na densidade de semeadura de 280.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com espaçamento entrelinhas de 50 cm. Para os demais manejos e tratos culturais, foram seguidas as recomendações agronômicas para a cultura da soja.

Na irrigação foi utilizado o método de aspersão convencional, onde os aspersores, do modelo Agropolo (1”), foram instalados com espaçamento de 6 x 6 m, utilizando a taxa de aplicação de 12 mm h<sup>-1</sup>. A irrigação da cultura se deu afim de manter o armazenamento de água do solo próximo à 60% de sua CAD (capacidade de água disponível total) na camada de 0 a 60 cm de profundidade no perfil do solo. Essa fração de água disponível utilizada foi denominada de CAD real. A tabela 1 mostra o resultado da caracterização físico-hídrica do solo.

Camadas (m)	Granulometria (%)			Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	CAD (mm)
	Areia	Silte	Argila		
0,0 – 0,2	51,6	36,0	12,4	1,51	30
0,2 – 0,4	44,3	42,8	13,0	1,46	34
0,4 – 0,6	38,7	43,6	17,7	1,33	34

Fonte: Autor.

No cálculo da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi utilizada a metodologia proposta por Allen et al. (1998). Para a obtenção dos dados meteorológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi utilizada uma estação meteorológica automática que está situada próxima ao local do experimento.

Para o ajuste da curva do coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub> simples) foi utilizada a fração de cobertura do dossel (F<sub>c</sub>) conforme recomenda Allen et al. 1998. Para estimar a F<sub>c</sub>, foi utilizada uma grade quadriculada de 0,50 x 0,50 m com malha de 0,10 x 0,10 m, obtendo assim a cobertura do dossel em relação ao máximo que pode ocupar para aquele espaçamento entrelinha e entre plantas.

Com a utilização de sensores FDR (0 – 60 cm) foi possível realizar as medidas do conteúdo volumétrico de água no solo nas parcelas irrigadas e não irrigadas. Com a subtração entre o valor da umidade no dia da leitura e o valor da umidade no ponto de murcha permanente, multiplicado pela profundidade da camada (mm), foi obtida a CAD atual.

Durante a fase reprodutiva, estágio fenológico de R3, foram medidas a área foliar e a altura de plantas, sendo coletadas duas plantas por parcela experimental, onde foram medidos o maior comprimento e a maior largura do folíolo central do trifólio, de forma manual utilizando uma régua. A estimativa de área foliar se deu com o uso da equação proposta por Richter et al. (2014). Com a razão entre a área foliar total da planta e a área de solo ocupada pela planta, foi calculado o índice de área foliar (IAF). A altura da planta foi medida da superfície do solo até o último nó.

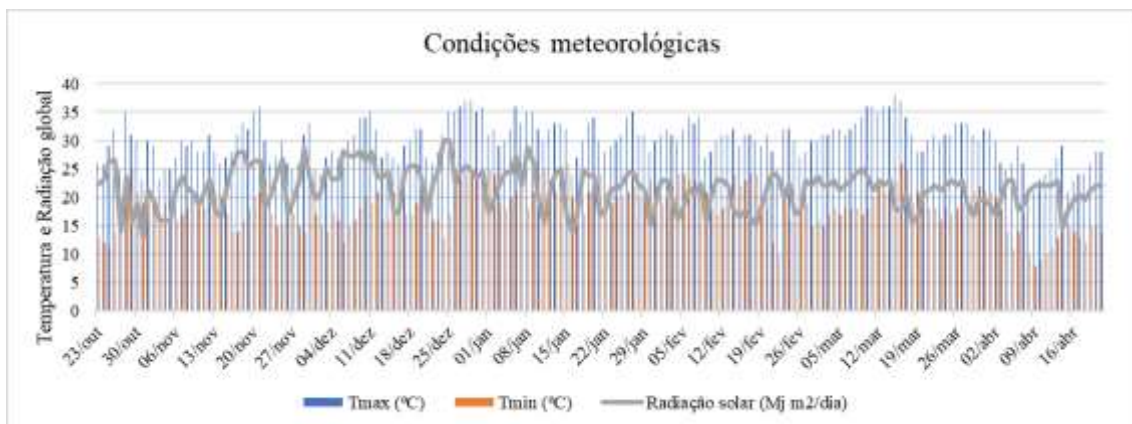
De forma manual, foi realizada a colheita das plantas da área central de cada parcela (3 m<sup>2</sup>), procedendo a trilha, limpeza, determinação da umidade dos grãos e a pesagem, para realização da análise da produtividade. O peso obtido foi corrigido para umidade de 13% e extrapolado para hectare (kg ha<sup>-1</sup>). Já, para a análise dos componentes de rendimento: número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos (PMG) (g), foram selecionadas aleatoriamente quatro plantas de cada parcela e foram processadas manualmente. Na determinação do PMG mediu-se a umidade e o peso obtido foi corrigido para a umidade de 13%.

As variáveis respostas obtidas foram submetidas à análise de variância pelo teste “F” e a análise complementar da variável época de semeadura pelo teste regressão, enquanto que as variáveis cultivar e regime hídrico pelo teste “Tukey”, em nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o software Sisvar.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerado como o mês mais quente, o mês de janeiro apresentou a temperatura do ar máxima de 38°C, e a menor temperatura registrada foi de 8°C, no mês de abril, onde ocorre a redução da temperatura em função das características climáticas do outono (Figura 1). Farias et al. (2020) cita que, a temperatura ideal para o desenvolvimento da soja se encontra em torno de 30°C, havendo então a facilidade de adaptação em regiões que apresentam temperaturas entre 20°C e 30°C. Para o município de Cachoeira do Sul, a radiação solar é crescente de outubro a dezembro (Figura 1) e, após isso, ela começa a reduzir. Na cultura da soja, a disponibilidade de radiação solar se relaciona com a fotossíntese, alongação da haste principal e ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e grãos e fixação biológica, conforme Câmara (2000).

Figura 1 – Resultado de temperatura e radiação solar global para o período de condução do experimento. Cachoeira do Sul, 2022.

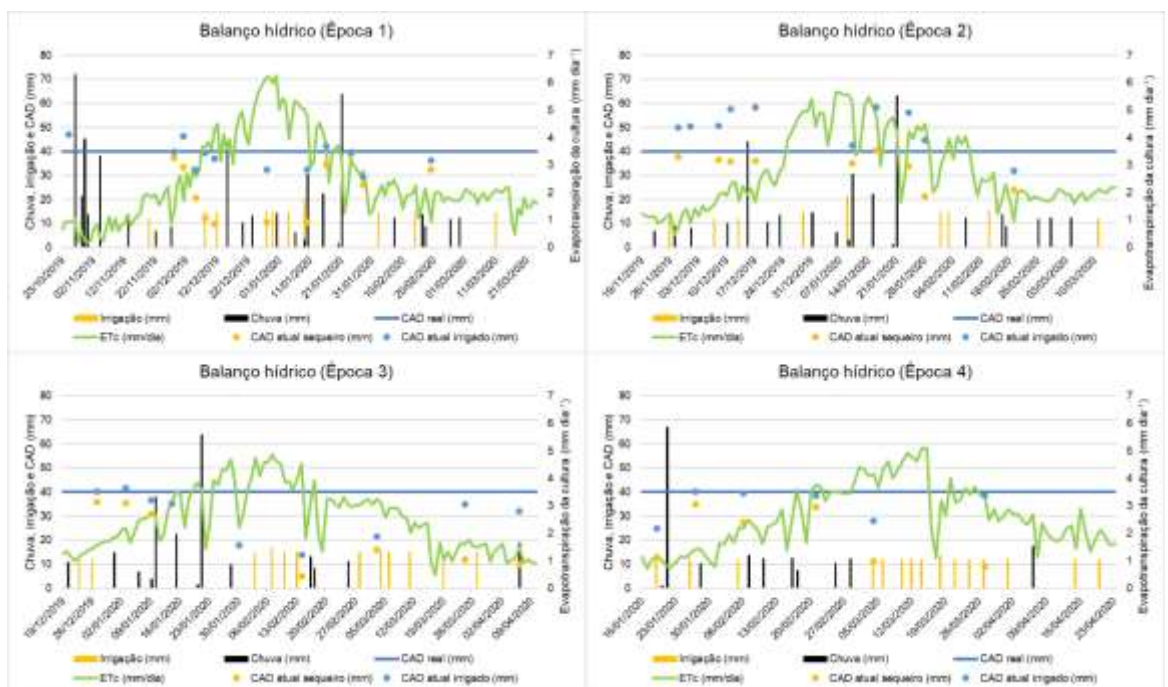


Fonte: Autor.

O ciclo de desenvolvimento, da semeadura até a colheita, teve duração de 153, 126, 119 e 99 dias para as épocas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, sendo que esse encurtamento de ciclo devido ao atraso da semeadura corrobora com os resultados obtidos por Zanon (2015). Para Kantolic (2008), a duração das fases e do ciclo de desenvolvimento da soja é influenciada pela temperatura e pelo fotoperíodo e, variações na duração do ciclo e em subperíodos de desenvolvimento também podem ocorrer em função do genótipo, segundo Setiyono et al. (2007).

Na figura 2, é demonstrado o balanço hídrico da cultura, onde nota-se uma melhor distribuição das chuvas ao longo do ciclo nas épocas 1 e 2, ajudando a manutenção da umidade do solo mais elevada. Na época 3, houveram chuvas bem distribuídas durante a fase inicial e de rápido crescimento, porém, durante a fase reprodutiva da cultura, houve uma redução considerável tanto na quantidade, quanto na distribuição das chuvas. Já na época 4, houveram poucos dias de chuva, sendo eles predominantemente durante a fase de rápido crescimento e início da fase reprodutiva. Doorenbos; Kassam (1994) citam como mais sensíveis ao déficit hídrico os períodos de desenvolvimento da vagem e os períodos de florescimento, enfatizando a parte final do período.

Figura 2 – Balanço hídrico para a cultura da soja em quatro épocas de semeadura no ano agrícola 2019-20. Cachoeira do Sul, 2022.



Fonte: Autor.

O ano agrícola de 2019-20 se caracterizou por apresentar baixos valores de chuvas acumuladas, ficando inferior ao da normal climatológica para Cachoeira do Sul. Os dados da normal climatológica 1961-1990 para o período ao qual a cultura da soja está à campo, de outubro a março, mostra que os valores de chuvas acumuladas são de 710,6 mm. A tabela 2 mostra que o somatório de chuvas durante o ciclo na época 1 foi superior do que a ETC



acumulada, porém, para as outras épocas, a chuva acumulada foi inferior à demanda hídrica da cultura. Mesmo assim, conforme mostrado na figura 2, a distribuição das chuvas ocorreu de forma irregular, ocasionando na redução do armazenamento de água no solo durante a fase reprodutiva. Também na figura 2, nota-se que para as épocas 3 e 4, a demanda hídrica da cultura na fase reprodutiva até o final do ciclo, foi praticamente toda suprida através da irrigação suplementar. Conforme citado por Gajić et al. (2018), nos anos considerados como semissecos e secos, quando as chuvas sazonais são inferiores a 300 mm, a irrigação se torna necessária para o cultivo da soja. Já em anos úmidos, onde se tem quantidade e distribuição de chuvas favorável durante a estação de crescimento, têm-se os rendimentos das áreas sem irrigação semelhantes aos obtidos com irrigação.

Tabela 2 – Componentes do balanço hídrico da cultura da soja em quatro épocas de semeadura no ano agrícola 2019-20. Cachoeira do Sul, 2022.

<b>Parâmetros do balanço hídrico</b>	<b>Época 1</b>	<b>Época 2</b>	<b>Época 3</b>	<b>Época 4</b>
ETc acumulada (mm)	380,78	324,62	283,72	256,05
Chuva acumulada (mm)	494,81	302,99	158,71	163,31
Irrigações acumuladas (mm)	152,09	129,60	175,81	181,60

Fonte: Autor.

As condições ambientais relacionadas às épocas de semeadura (disponibilidade de radiação solar, temperatura, fotoperíodo e distribuição de chuvas), o regime hídrico adotado (irrigado ou sequeiro) e a cultivar escolhida (BMX GARRA, ND 5445 ou BMX RAI0), impactaram em parâmetros de crescimento das plantas (altura e IAF), nos componentes de rendimento (vagens planta<sup>-1</sup>, grãos vagem<sup>-1</sup> e PMG) e na produtividade da soja. Há diferenças entre as épocas de semeadura, assim como entre as cultivares, para todas as variáveis analisadas. O regime hídrico só não influenciou no número de grãos vagem<sup>-1</sup>. A interação entre os fatores época de semeadura e regime hídrico só não existe para IAF. A interação entre os fatores época de semeadura e cultivar só não existe para vagens planta<sup>-1</sup> e PMG. A interação entre os fatores cultivar e regime hídrico existe para todas as variáveis analisadas. A interação entre os fatores época de semeadura, regime hídrico e cultivar só não existe para altura de plantas e PMG (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise da variância para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul, 2022.

	Valor do F calculado					
	Alt.de Plantas (cm)	IAF	Vagens planta <sup>-1</sup>	Grãos vagem <sup>-1</sup>	PMG (g)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
A	284,42*	42,31*	156,32*	13,26*	12,89*	244,84*
B	350,97*	59,34*	31,16*	0,10 <sup>ns</sup>	190,10*	587,57*
C	46,02*	21,98*	5,66*	14,06*	3,39*	6,62*
A x B	23,92*	2,51 <sup>ns</sup>	50,39*	5,98*	5,53*	37,10*
A x C	3,68*	3,28*	1,64 <sup>ns</sup>	2,27*	0,97 <sup>ns</sup>	5,00*
B x C	9,33*	4,76*	9,73*	5,43*	0,68*	4,82*
A x B x C	1,68 <sup>ns</sup>	3,13*	5,01*	2,58*	0,66 <sup>ns</sup>	2,88*
Repetição	1,72 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,615 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,71	28,83	16,08	6,17	7,22	10,83

Fonte: Autor.

Em que: A = fator época de semeadura; B = fator regime hídrico; C = fator cultivar; IAF = índice de área foliar; PMG = peso de mil grãos; CV = coeficiente de variação; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste “F” em nível de 5% de probabilidade de erro.

A irrigação suplementar proporcionou um aumento médio de IAF e altura de plantas de, respectivamente, 42% e 39% para a cultivar BMX GARRA, 39% e 31% para a cultivar ND 5445 e 27% e 34% para a cultivar BMX RAI0 (Tabela 4). A redução do crescimento é uma das primeiras respostas ao estresse hídrico, o que explica os menores valores de IAF e altura de plantas na área de sequeiro (TAIZ; ZEIGER, 2013). Conforme verificação realizada por Chunfeng et al. (2019), a irrigação de até 400 mm resulta em um aumento significativo da área foliar da soja.

Zanon et al. (2018), citam que é necessário obter um IAF superior a 6,3 para que seja possível atingir altas produtividades. Esse valor foi obtido para a cultivar BMX GARRA nas épocas 1 e 3 com regime hídrico irrigado e na época 2 em ambos regimes hídricos, para a cultivar ND 5445 nas épocas 2 e 3 com regime hídrico irrigado e para a cultivar BMX RAI0 na época 2, em ambos regimes hídricos (Tabela 4). Para Farias et al. (2020), a deficiência de água causa um estresse que determina a presença de plantas pouco desenvolvidas, com folhas pequenas, entrenós curtos e pequena estatura.

Devido à maior disponibilidade de radiação solar, bem como pelo maior acúmulo térmico na fase inicial da cultura, tem-se como resultado os valores mais elevados de IAF e altura de plantas nas épocas 2 e 3. Para a época 4, a radiação solar e o fotoperíodo se tornam fatores limitantes para a produção de biomassa. O fotoperíodo varia de cerca de 10h em 21 de junho até 14h em 21 de dezembro, para a latitude da região do estudo.

O número de vagens planta<sup>-1</sup> e o PMG também foram influenciados pela irrigação suplementar, obtendo-se um aumento de, respectivamente, 28% e 19% para a cultivar BMX GARRA, 29% e 19% para a cultivar ND 5445 e 30% e 19% para a cultivar BMX RAI0 (Tabela 4). Um aumento do PMG na média das cultivares em estudo, devido à irrigação por aspersão, em torno de 20 g quando comparado ao tratamento sem irrigação, foi observado por Correa et al. (2019).

Tabela 4 – Resultado do IAF, altura de plantas, vagens planta<sup>-1</sup>, grãos vagem<sup>-1</sup>, PMG e produtividade da soja irrigada e de sequeiro, para quatro épocas de semeadura e três cultivares no ano agrícola 2019-20. Cachoeira do

		BMX GARRA	ND 5445	BMX RAI0			BMX GARRA	ND 5445	BMX RAI0
Vagens planta <sup>-1</sup>					Altura de Plantas (cm)				
Época 1	Irrigado	126,1 aA	105,3 aB	123,6 aA	Época 1	Irrigado	60,3 aA	30,8 aB	39,0 aB
	Não irrigado	79,5 bA	74,5 bB	76,4 bA		Não irrigado	28,8 bA	20,8 bB	28,6 bA
Época 2	Irrigado	77,7 aA	55,2 aB	60,3 aB	Época 2	Irrigado	109,9 aA	84,0 aB	82,5 aB
	Não irrigado	66,7 bA	46,1 bC	53,0 bB		Não irrigado	74,3 bA	65,5 bB	59,8 bC
Época 3	Irrigado	65,1 aA	45,3 aC	53,0 aB	Época 3	Irrigado	87,8 aA	69,0 aC	76,3 aB
	Não irrigado	52,6 bA	36,1 bC	47,0 bB		Não irrigado	50,5 bA	45,5 bB	41,5 bB
Época 4	Irrigado	56,6 aA	40,0 aB	41,7 aB	Época 4	Irrigado	43,3 aA	32,3 aC	39,5 aB
	Não irrigado	33,2 bA	20,2 bB	16,6 bC		Não irrigado	30,4 bA	21,0 bB	24,0 bB
Grãos vagem <sup>-1</sup>					Índice de área foliar				
Época 1	Irrigado	2,2 aA	2,0 aA	2,0 aB	Época 1	Irrigado	7,9 aA	4,6 aB	4,2 aB
	Não irrigado	2,2 aA	2,2 aA	1,9 aB		Não irrigado	4,7 bA	2,8 bB	3,1 bB
Época 2	Irrigado	2,3 aA	2,3 aA	2,2 aB	Época 2	Irrigado	12,6 aA	7,6 aB	7,3 aB
	Não irrigado	2,2 aA	2,2 aA	2,0 aB		Não irrigado	9,7 bA	5,9 bB	6,4 bB
Época 3	Irrigado	2,3 aA	2,4 aA	2,3 aA	Época 3	Irrigado	11,2 aA	6,4 aB	5,9 aB
	Não irrigado	2,3 aA	2,3 aA	2,1 aB		Não irrigado	5,9 aA	4,8 aA	5,0 aA
Época 4	Irrigado	2,0 aA	2,0 aA	2,0 aA	Época 4	Irrigado	4,2 aB	5,2 aA	4,3 aB
	Não irrigado	2,0 aA	2,1 aA	1,9 aB		Não irrigado	1,8 bA	1,6 bA	1,9 bA
Peso de mil grãos (g)					Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )				
Época 1	Irrigado	197,9 aA	180,7 aB	184,0 aB	Época 1	Irrigado	4430,3 aA	4211,2 aA	4286,5 aA
	Não irrigado	162,1 bA	156,5 bB	155,6 bB		Não irrigado	3587,3 bA	3272,9 bA	3688,6 bA
Época 2	Irrigado	226,5 aA	200,6 aB	202,8 aB	Época 2	Irrigado	4563,3 aA	4708,1 aA	4803,8 aA
	Não irrigado	164,8 bA	157,5 bB	157,2 bB		Não irrigado	2651,6 bB	2855,7 bB	3307,7 bA
Época 3	Irrigado	184,7 aA	181,4 aA	189,0 aA	Época 3	Irrigado	4242,7 aA	4313,4 aA	4153,9 aA
	Não irrigado	152,8 bA	151,5 bA	156,2 bA		Não irrigado	1691,4 bA	1395,9 bB	1404,8 bB
Época 4	Irrigado	180,0 aA	177,8 aA	181,2 aA	Época 4	Irrigado	1985,7 aB	1982,4 aB	2938,2 aA
	Não irrigado	144,9 bA	133,3 bB	144,1 bA		Não irrigado	1089,5 bA	661,6 bB	863,1 bB

Sul, 2022.

Fonte: Autor.

Em que: números seguidos por diferentes letras minúsculas nas linhas (regime hídrico) ou letras maiúsculas nas colunas (cultivar), para uma mesma época diferem entre si pelo teste “Tukey” em nível de 5% de significância.

O número de vagens planta<sup>-1</sup> tem uma redução linear conforme se tem o retardo na época de semeadura, para as três cultivares estudadas e ambos regimes hídricos (Tabelas 4 e 5), juntamente com a redução da disponibilidade hídrica durante o período reprodutivo da cultura

(Figura 2). Na fase de floração da soja, déficits hídricos significativos provocam alterações fisiológicas na planta, podendo ocasionar a queda prematura de flores e, conseqüentemente, o abortamento das vagens (STRECK, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013; FARIAS et al., 2020).

Tabela 5 – Equações de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para altura de plantas, IAF, vagens planta<sup>-1</sup>, grãos vagem<sup>-1</sup>, PMG e produtividade da soja irrigada e de sequeiro para três diferentes cultivares. Cachoeira do Sul, 2022.

	BMX GARRA		ND 5445		BMX RAI0	
<b>Altura de plantas (cm)</b>						
Irrigado	$y = -23,531x^2 + 110,34x - 24,094$	$R^2 = 0,9532$	$y = -20,063x^2 + 99,837x - 39,812$	$R^2 = 0,9886$	$y = -20,063x^2 + 99,837x - 39,812$	$R^2 = 0,9886$
Não irrigado	$y = -16,406x^2 + 80,144x - 31,344$	$R^2 = 0,8048$	$y = -17,313x^2 + 84,637x - 43,563$	$R^2 = 0,8703$	$y = -12,156x^2 + 57,569x - 14,281$	$R^2 = 0,8365$
<b>Índice de área foliar</b>						
Irrigado	$y = -2,9256x^2 + 13,362x - 2,4894$	$R^2 = 0,9998$	$y = -1,0544x^2 + 5,3306x + 0,5481$	$R^2 = 0,826$	$y = -1,1756x^2 + 5,7704x - 0,1531$	$R^2 = 0,8562$
Não irrigado	$y = -2,3031x^2 + 10,263x - 2,8656$	$R^2 = 0,8864$	$y = -1,5875x^2 + 7,4545x - 2,97$	$R^2 = 0,9818$	$y = -1,5956x^2 + 7,4744x - 2,6531$	$R^2 = 0,9631$
<b>Vagens planta<sup>-1</sup></b>						
Irrigado	$y = -22,131x + 136,69$	$R^2 = 0,8451$	$y = -20,569x + 112,84$	$R^2 = 0,7893$	$y = -25,306x + 132,91$	$R^2 = 0,7885$
Não irrigado	$y = -15,306x + 96,25$	$R^2 = 0,9902$	$y = -17,294x + 87,438$	$R^2 = 0,9559$	$y = -18,563x + 94,656$	$R^2 = 0,9452$
<b>Grãos vagem<sup>-1</sup></b>						
Irrigado	$y = -0,1031x^2 + 0,4624x + 1,8169$	$R^2 = 0,9564$	$y = -0,1413x^2 + 0,7583x + 1,3838$	$R^2 = 0,9264$	$y = -0,1244x^2 + 0,6636x + 1,4019$	$R^2 = 0,861$
Não irrigado	$y = -0,0712x^2 + 0,3103x + 1,9475$	$R^2 = 0,7779$	$y = -0,0812x^2 + 0,3772x + 1,87$	$R^2 = 0,768$	$y = -0,0763x^2 + 0,3647x + 1,635$	$R^2 = 0,9668$
<b>Peso de mil grãos (g)</b>						
Irrigado	$y = -8,3245x^2 + 32,091x + 179,48$	$R^2 = 0,5587$	$y = -5,8874x^2 + 26,66x + 162,62$	$R^2 = 0,5429$	$y = -6,6414x^2 + 31,012x + 161,52$	$R^2 = 0,7278$
Não irrigado	$y = -2,6537x^2 + 6,9363x + 158,71$	$R^2 = 0,9287$	$y = -3,4269x^2 + 13,607x + 144,96$	$R^2 = 0,9665$	$y = -4,7918x^2 + 16,399x + 144,64$	$R^2 = 0,9964$
<b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
Irrigado	$y = -597,51x^2 + 2222,1x + 2731,6$	$R^2 = 0,9754$	$y = -706,99x^2 + 2826,9x + 2039,1$	$R^2 = 0,988$	$y = -433,25x^2 + 1696,8x + 3053$	$R^2 = 0,9903$
Não irrigado	$y = -845,36x + 4368,4$	$R^2 = 0,9903$	$y = -929,34x + 4369,9$	$R^2 = 0,9597$	$y = -1037,9x + 4910,8$	$R^2 = 0,9273$

Fonte: Autor.

O número de grãos vagem<sup>-1</sup> apresentou um ajuste polinomial em função da época de semeadura, com valores mais elevados na terceira época, para todas as cultivares analisadas e ambos regimes hídricos, não havendo influência do regime hídrico (Tabelas 4 e 5). Para a cultivar BMX RAI0, com exceção das épocas 3 e 4, no regime irrigado, foram encontrados os menores valores. Como citado por Mundstock; Thomas (2005), a menor variação se dá no número de grãos vagem<sup>-1</sup>, dentre os demais componentes diretos.

O PMG apresentou um ajuste polinomial em função da época de semeadura para ambos regimes hídricos e cultivares (Tabela 4 e 5), com valores mais elevados na época 2 sob irrigação, em que os fatores ambientais (radiação e disponibilidade hídrica) foram potencializados. A cultivar BMX GARRA foi a que apresentou os maiores valores para as épocas 1 e 2, em ambos regimes hídricos.

A produtividade apresentou um ajuste linear em função da época de semeadura para o regime hídrico de sequeiro, em todas as cultivares (Tabela 5), onde os maiores valores foram encontrados na primeira época de semeadura (Tabela 4). Para o regime irrigado, o ajuste é polinomial nas três cultivares (Tabela 5), e tem-se os maiores valores obtidos para a época 2 (Tabela 4). Zanon et al. (2018), destaca que é possível ajustar o período reprodutivo da cultura,

considerado crítico, ao período de maior radiação solar disponível, através da adequação da época de semeadura e, com isso, tem-se o aumento do potencial de produtividade.

Da época 1 para a época 4, houve uma queda de produtividade da cultivar BMX GARRA de 55% no regime irrigado e 70% no regime de sequeiro, para a cultivar ND 5445, as quedas foram de 53% e 80%, irrigado e sequeiro, e, para a cultivar BMX RAIIO, foram de 31% e 77%, irrigado e sequeiro, respectivamente. Alguns estudos mostram perdas de produtividade de até 70%, comparando safrinha com a época preferencial (RODRIGUES et al., 2001; BRACCINI et al., 2004; RODRIGUES et al., 2008; STÜLP et al., 2009). Esses resultados demonstram a importância da antecipação da semeadura de soja visando a obtenção de uma maior produtividade, sobretudo em áreas de sequeiro.

Nas áreas irrigadas, as produtividades foram superiores às de sequeiro em 41%, 49% e 45%, para as cultivares BMX GARRA, ND 5445 e BMX RAIIO, respectivamente. Pedrotti (2014), em busca de épocas de semeadura para a expressão do máximo potencial das culturas de soja e milho, sequeiro e irrigado, obteve 14% de incremento médio na produtividade da soja irrigada.

Utilizando irrigações na fase inicial de floração e de enchimento de grãos, Jaybhay et al. (2019) obtiveram produtividades máximas de 3221 kg ha<sup>-1</sup> de soja. Conforme os próprios autores, não só se tem um rendimento ideal, como também é uma estratégia para a obtenção do retorno líquido econômico máximo. Gajić et al. (2018), avaliaram diferentes estratégias de irrigação, sendo elas: 100%, 65%, 40% e 0% da irrigação total, e obtiveram resultados de máxima produtividade em 65% da irrigação total, com o valor de 3690 kg ha<sup>-1</sup>.

## 4 CONCLUSÃO

O ano agrícola de 2019-20 para a região central do RS teve como características a baixa quantidade e a distribuição irregular das chuvas, demandando da irrigação suplementar de 150 a 180 mm, que proporcionaram incrementos positivos na produtividade da soja em média de 45%.

A soja irrigada foi menos influenciada pela época de semeadura que a soja de sequeiro, com a redução da produtividade de aproximadamente 24 kg dia<sup>-1</sup> (irrigada) e de 31 kg dia<sup>-1</sup> (sequeiro) com o atraso da semeadura de 23 de outubro para 16 de janeiro.

Os valores de produtividade foram muito similares entre as cultivares no regime hídrico irrigado para as três primeiras épocas de semeadura (>4000 kg ha<sup>-1</sup>) e na quarta época se sobressaiu a cultivar BMX RAI0. Já, para o regime hídrico de sequeiro para as semeaduras a partir de novembro, deve-se avaliar a resposta produtiva da cultivar, pois a cultivar BMX GARRA apresentou melhores resultados para as duas últimas épocas e a cultivar BMX RAI0 para a segunda época.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements.** Roma: FAO, 1998, 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>. Acesso em: 06 out. 2022.
- BATTISTI, R. *et al.* **Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil.** International Journal of Plant Production, v. 12, p. 159-168, 2018.
- BRACCINI, A. L. *et al.* **Características agronômicas e rendimento de sementes de soja na semeadura realizada no período de safrinha.** Bragantia, Campinas, v. 63, n. 1, p. 81-92, 2004.
- CÂMARA, G. M. S. **Soja: Tecnologia da produção II.** Piracicaba, 450p, 2000.
- CHUNFENG *et al.* **Effects of drip irrigation on spring soybean (*Glycine Max* L.Merr) growth and soil physical indexes of Heilongjiang province of China.** Bangladesh Journal Botany, Bangladesh, v. 48(1), p. 95-103, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Décimo segundo levantamento safra 2019/20.** n. 12 – v 7, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>>. Acesso em: 28 set. 2022.
- CORRÊA, M. F. *et al.* **Efeito da irrigação por aspersão no rendimento e potencial fisiológico das sementes de soja.** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.18, n.4,p.482-488, 2019.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeitos da água no rendimento das culturas.** Roma: FAO, 1994. 212 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, Editora:Embrapa, 3ed., p.353, 2013.
- FARIAS, J. R. B. *et al.* **Árvore do conhecimento soja.** EMBRAPA. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000g0tk1p1302wx5ok026zxpgwjmp2f.html>>. Acesso em: 02 set. 2020.
- GAJÍC, B. *et al.* **Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment.** Agricultural Water Management, Elsevier, v. 210, p. 224-23, 2018.
- JAYBHAY, S. A. *et al.* **Response of Soybean [*Glycine max* (L.)Merrill] to Irrigation at Different Growth Stages.** Agricultural Science Digest, v. 39, p.132-135, 2019.
- JUSTINO, L. F. *et al.* **Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil.** Agricultural Water Management, v. 224, p. 105749, 2019.

KANTOLIC, A. G. **Control ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genótipos.** Revista da Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, v. 28, p. 63-88, 2008.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos.** Engraf. Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.31, 2005.

PEDROTTI, M. C. **Produtividade de soja e milho em função da época de semeadura sob irrigação e sequeiro.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.

RICHTER, G. L. *et al.* **Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo.** Bragantia, Campinas, v. 73, n. 4, p.416-425, 2014.

RODRIGUES, O. *et al.* **Rendimento de grãos de soja em resposta a época de semeadura.** [S.l.]: Embrapa Trigo, p. 3. (Comunicado Online, 65), 2001.

RODRIGUES, O. *et al.* **Rendimentos de grãos de soja em semeadura tardia.** [S.l.]: Embrapa Trigo, p. 26 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 66), 2008.

SANTOS, A. C. *et al.* **Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja.** XI EEPa, Anais ISSN – 2176-3097. Campo Mourão, PR. 2017.

SETIYONO, T. D. *et al.* **Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions.** Field Crops Research, v.100, p. 257-271, 2007.

SILVA, L. P. *et al.* **Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado.** SBAgro, ISSN – 2526-7043. Passo Fundo, RS. v. 28, e026702, 2020.

STRECK, N. A. **Do we know how plants sense a drying soil?.** Ciência Rural. Santa Maria, v. 34, p.581-584. 2004.

STÜLP, M. *et al.* **Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, p. 1240-1248, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5.ed. Porto Alegre:Artemed, p. 954, 2013.

ZANON, A. J. *et al.* **Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja.** Bragantia, Campinas, v.74, p.279-290, 2015.

ZANON, A. J. *et al.* **Ecofisiologia da soja- Visando altas produtividades.** 1º ed. Santa Maria: [n.s.], ISBN: 978-85-54856-14-4, p.136, 2018.