

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

Gianluca Pigatto

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES CULTIVARES DE
SOJA COM A UTILIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NA
SAFRA 2022-23**

Cachoeira do Sul, RS
2023

Gianluca Pigatto

Desempenho agronômico de diferentes cultivares de soja com a utilização da irrigação suplementar na safra 2022-23

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^a. Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Cachoeira do Sul, RS
2023

Gianluca Pigatto

Desempenho agronômico de diferentes cultivares de soja com a utilização da irrigação suplementar na safra 2022-23

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 12 de julho de 2023

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

Christiano de Carvalho Lamb, Me (ET. Nossa Senhora da Conceição)

Alberto Eduardo Knies, Dr. (UERGS)

Cachoeira do Sul, RS
2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante essa jornada desafiadora e gratificante.

Aos meus pais e irmã, que sempre acreditaram no meu potencial e me apoiaram fortemente, agradeço por todo amor, paciência e incentivo ao longo dos anos.

A minha namorada, pelo grande apoio e carinho, onde me ajudou, corrigiu e muitas vezes me guiou para bons caminhos, me ajudando a superar vários desafios.

Aos meus amigos, que compartilharam grandes momentos que levarei para a vida, obrigado por terem me acompanhado nessa trajetória acadêmica.

A minha orientadora, que me guiou com sabedoria, conhecimento e dedicação, agradeço por compartilhar seu tempo e grande conhecimento. Suas orientações foram fundamentais para o meu desenvolvimento e deste trabalho.

A todos os participantes do grupo GEPAB, que juntos me ajudaram para a realização deste trabalho, sendo vocês fundamentais para a obtenção de resultados e conclusões do estudo.

Por fim, dedico este trabalho a mim mesmo, sendo um grande marco na minha vida, onde cresci, aprendi e passei por momentos incríveis e desafiadores. Uma grande fase se encerra, abrindo portas para novos desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha família, amigos, professores e a todos os integrantes do grupo GEPAB, que me auxiliaram de grande modo, tornando possível a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço ao curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul, ao corpo docente e discente, sem a dedicação de todos, este trabalho não seria o mesmo

RESUMO

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA COM A UTILIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NA SAFRA 2022-23

AUTOR: Gianluca Pigatto

ORIENTADORA: Zanandra Boff de Oliveira

A soja é a principal cultura de primavera-verão do estado do RS e estudos que contribuam para o aumento da sua produtividade por área, são importantes para a sustentabilidade da lavoura. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar e comparar os componentes de rendimento e a produtividade de vinte e duas cultivares de soja em um ano de Lã Niña (2022-23) na região central do estado do Rio Grande do Sul, com e sem a irrigação suplementar. O experimento foi realizado a campo na área experimental da UERGS – Cachoeira do Sul, com semeadura no dia 26/11/2022. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso no esquema fatorial (2 x 22), sendo o fator “A” dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro) e o fator “B” 22 cultivares de soja e três repetições, totalizando 132 parcelas experimentais. As 22 cultivares de soja foram escolhidas em função da disponibilidade (doação de sementes). A irrigação foi realizada por um sistema de aspersão convencional baseada em informações do balanço hídrico da cultura. Observou-se para o ano agrícola de 2022/23 em Cachoeira do Sul, que as chuvas foram em baixas quantidades e má distribuídas durante o ciclo da soja, totalizando apenas 152 mm de chuva, insuficiente para suprir a necessidade da cultura. A irrigação suplementar de 244 mm agregou valores significativos ao desempenho agrônomo da soja, incrementou em aproximadamente 86% o IAF das plantas, em 114 % as vagens por plantas, em 26% o PMG e, em média, 111% a mais de produtividade. As cultivares BXM CROMO, BXM COMPACTA, BXM TORQUE, BXM LÓTUS e a NEO 580, obtiveram os melhores resultados no regime hídrico irrigado, com produtividade de 4948,9 kg ha⁻¹ a 5195,4 kg ha⁻¹. Enquanto, no regime hídrico de sequeiro, as cultivares BMX GARRA, BMX RAIIO, BMX LÓTUS, BMX CROMO e NEO 590 I2X, tiveram os melhores valores de produtividade, variando de 2617,9 kg ha⁻¹ a 2319,6 kg ha⁻¹. Assim, os resultados deste estudo contribuem para a definição de práticas de manejo que aumentam a produtividade da soja na região de estudo.

Palavras-chave: Irrigação; Rendimento; Soja.

ABSTRACT

AGRONOMIC PERFORMANCE OF DIFFERENT SOYBEAN CULTIVARS USING SUPPLEMENTARY IRRIGATION IN THE 2022-23 CROP

AUTHOR: Gianluca Pigatto

ADVISOR: Zanandra Boff de Oliveira

Soybean is the main spring-summer crop in the state of RS and studies that contribute to the increase of its productivity per area are important for the sustainability of the crop. Thus, the objective of this study is to evaluate and compare the yield components and productivity of twenty-two soybean cultivars in one year of Lã Niña (2022-23) in the central region of the state of Rio Grande do Sul, with and without supplementary irrigation. The experiment was carried out in the field in the experimental area of UERGS – Cachoeira do Sul, with sowing on 11/26/2022. The experiment was conducted in a randomized block design in a factorial scheme (2 x 22), with factor "A" being two water regimes (irrigated and rainfed) and factor "B" 22 soybean cultivars and three replications, totaling 132 experimental plots. The 22 soybean cultivars were chosen according to availability (seed donation). Irrigation was performed by a conventional sprinkler system based on information from the water balance of the crop. It was observed for the agricultural year 2022/23 in Cachoeira do Sul, that the rains were in low quantities and poorly distributed during the soybean cycle, totaling only 152 mm of rain, insufficient to meet the need for the crop. The supplementary irrigation of 244 mm added significant values to the agronomic performance of soybeans, increased by approximately 86% the HAI of the plants, by 114% the pods per plant, by 26% the PMG and, on average, 111% more productivity. The cultivars BXM CROMO, BXM COMPACTA, BXM TORQUE, BXM LOTUS and NEO 580 obtained the best results in the irrigated water regime, with productivity from 4948.9 kg ha⁻¹ to 5195.4 kg ha⁻¹. While, in the dry water regime, the cultivars BMX GARRA, BMX RAI0, BMX LOTUS, BMX CROMO and NEO 590 I2X, had the best yield values, ranging from 2617.9 kg ha⁻¹ to 2319.6 kg ha⁻¹. Thus, the results of this study contribute to the definition of management practices that increase soybean productivity in the study region.

Key-words: Irrigation; Income; Soybean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sensor FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific).....	15
Figura 2 – Balanço hídrico da cultura da soja irrigada em Cachoeira do Sul - RS, no ano agrícola 2022/23.....	17
Figura 3 – Índice de área foliar das plantas irrigadas e de sequeiro de todas as cultivares, determinado em estágio de R1 (floração), Cachoeira do Sul – RS.....	18
Figura 4- Produtividade da soja irrigada e sequeiro e linhas indicativas de tetos produtivos. Cachoeira do Sul – RS, 2023.....	24.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cultivares e seus respectivos GMR's	13
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul – RS, 2023.....	19
Tabela 3 – Número de vagens por planta, representando as cultivares nas duas condições de regime hídrico	20
Tabela 4 – Número de grãos por vagem, representando as cultivares nas duas condições de regime hídrico.	21
Tabela 5 – Peso de mil grãos, em gramas, de cada cultivar nas duas condições de regime hídrico	22
Tabela 6 – Produtividade das cultivares, em kg ha ⁻¹ , nas duas condições de regime hídrico	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4 CONCLUSÕES.....	25
5 REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Devido ao atual cenário mundial, a soja continua sendo um dos grãos mais cultivados no mundo por possuir altos índices nutritivos, como proteína, além de ser matéria prima para diversos derivados. Na safra de 2021/22 foram colhidos, no mundo, cerca de 355,588 milhões de toneladas de soja, em uma área de 130,935 milhões de hectares cultivados. O Brasil manteve seu posto de maior produtor de soja do mundo com cerca de 123.829,5 milhões de toneladas, em uma área de 40.921,9 hectares cultivados, com produtividade de 3.026 kg ha⁻¹(CONAB, 2022).

No Brasil, o estado do Mato Grosso é líder na produção de soja, com 39.961,1 milhões de toneladas em uma área de 10.909,4 milhões de hectares cultivados. O estado do Rio Grande do Sul foi responsável pela produção de 9.727,7 milhões de toneladas em uma área de 6.358 hectares cultivados, com uma produtividade de 1530 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Em Cachoeira do Sul, área alvo deste trabalho, a produção de soja foi de 341.998 toneladas, em uma área de 105.800 hectares cultivados, sendo a produtividade da região de 3.232 kg ha⁻¹ (IBGE, 2021).

A produtividade está ligada a diversos fatores, desde antes da semeadura, até o período da colheita. Boas práticas, vigor de sementes, época de semeadura e tratamento adequado são alguns fatores que influenciam diretamente na produtividade da cultura. Para Tekrony; Egli (1991), a utilização de sementes com vigor alto é fundamental para assegurar a população de plantas sobre a ampla variação das condições do ambiente que a semente pode sofrer até sua emergência. Além disso, fatores climáticos como temperatura, níveis de radiação e quantidade de chuva podem afetar drasticamente a produção de grãos de uma lavoura (EMBRAPA, 2014). O estado do Rio Grande do Sul vem sofrendo com a Lã Niña por três anos consecutivos. O fenômeno Lã Niña é um evento climático que é caracterizado pelo resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial. A partir deste fenômeno, temos a ocorrência de chuvas abaixo da normal climatológica, na região sul do Brasil, afetando diretamente a produção agrícola (LOPES; BERLATO, 2000).

Para ter um desenvolvimento adequado e com boa produtividade, a disponibilidade de água é primordial para a cultura da soja. Em todo o seu ciclo de desenvolvimento fenológico são necessários, em média, de 450 a 800 mm de água no solo, sendo os períodos mais críticos os da semeadura à emergência e o enchimento dos grãos (BERLATO et al., 1987). Os efeitos da falta de água na cultura da soja vão depender do tempo de duração, intensidade, frequência e época de ocorrência. Segundo Thomas; Costa (1996), o déficit hídrico inibe a expansão celular e a fotossíntese da planta, afetando o desenvolvimento da cultura. O déficit hídrico pode

diminuir o tamanho de planta, ocasionar o aborto de flores, óculos e legumes, bem como o tamanho de grãos presentes nas vagens.

Assim, a irrigação suplementar é uma prática fundamental para o estabelecimento da cultura da soja no estado, visando atingir altos índices produtivos (SENTELHAS et al., 2015). Segundo a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), o Brasil possui 8,2 milhões de hectares equipados com sistemas de irrigação, sendo 5,3 milhões de hectares irrigados com água doce disponível na superfície e 2,9 milhões de hectares irrigados com água de reuso (ATLAS IRRIGAÇÃO, 2022). O estado do Rio Grande do Sul apresenta uma área de 190.000 hectares com irrigação realizada por pivôs centrais, destes, 152.237 hectares são destinados para a produção de soja (ATLAS IRRIGAÇÃO, 2021). Ademais, cabe salientar o potencial das áreas de várzeas (terras baixas) que compõem a toposequência da metade sul do RS para a irrigação por superfície, como o caso do sistema sulco-camaleão, que pode ser uma boa estratégia para a irrigação das culturas da soja e do milho.

Além da falta de água, os fatores climáticos: temperatura, fotoperíodo e radiação solar, estão diretamente associados ao rendimento produtivo da cultura da soja. A época de semeadura determina a exposição das plantas as variações que ocorrem nos fatores climáticos, determinando a duração do ciclo da cultura. O fotoperíodo exerce influência sobre os períodos vegetativos e reprodutivos, variando conforme a latitude da área e a época de semeadura, por isso, é importante avaliar o grupo de maturidade relativa (GMR) da cultivar utilizada, definindo o melhor momento para sua semeadura, visando o alto rendimento da cultura (THOMAS; COSTA, 2010).

Oliveira; Knies; Gomes (2020) observaram um incremento de 13 sacas ha^{-1} a mais de soja com o uso da irrigação suplementar em Cachoeira do Sul. Além disso, neste mesmo local de estudo, Oliveira et al. (2021) destacam que cultivares de ciclo mais precoce (GMR 5.0 e 4.8), apresentaram produtividades mais elevadas sob irrigação em dois anos agrícolas 2018-19 e 2019-20.

Para Cachoeira do Sul, na safra 2022-23, a janela de semeadura da foi entre 21/10 a 31/12, com mais de cento e cinquenta cultivares recomendadas, com as mais distintas características de pacotes tecnológicos em sementes e duração de ciclo (GMR). Assim, estudos que avaliem a produtividade destas cultivares em nível local/regional sob diferentes condições de manejo são importantes para fornecer subsídios técnicos a tomada de decisão a respeito de qual estratégia de manejo utilizar. Deste modo, o objetivo deste trabalho é avaliar e comparar os componentes de rendimento e a produtividade de vinte e duas cultivares de soja em um ano

de Lã Niña (2022-23) na região central do estado do Rio Grande do Sul, com e sem a irrigação suplementar.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado a campo, na safra 2022/23, utilizando a cultura da soja (*Glycine max*) na Estação Experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada no distrito de Três Vendas, no município de Cachoeira do Sul (29°53' S e 53° 00' W, altitude de 125 m), na região central do estado. Segundo Köppen, o clima predominante da região é definido como subtropical úmido (Cfa), predominante na região sul. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso no esquema fatorial (2 x22), sendo o fator “A” dois regimes hídrico e o fator “B” 22 cultivares de soja e três repetições, totalizando 132 parcelas experimentais. As 22 cultivares de soja foram escolhidas em função da disponibilidade (doação de sementes) e estão apresentadas com seus respectivos GMR na tabela abaixo:

Tabela 1- Cultivares e seus respectivos GMR's.

Cultivar	Nome	GMR
1	BMX ZEUS	5.5
2	BMX TROVÃO	5.2
3	BMX TORQUE	5.7
4	BMX COMPACTA	6.5
5	BMX LÓTUS	6.1
6	BMX VÊNUS	5.7
7	BMX CROMO	5.6
8	BMX RAI0	5.0
9	BMX NEXUS	6.4
10	BMX FIBRA	6.4
11	BMX COLISEU	6.3
12	BMX GARRA	6.3
13	NEO 580	5.8
14	NEO 530	5.3
15	NEO 560	5.6
16	NEO 590 I2X	5.9
17	TMG 7362	6.3
18	TMG 7363	6.3
19	TMG 2165	6.5
20	NS 6700	7.1
21	NS 5710	5.8
22	NS 5933	6.1

Em que: BMX: Brasmax; Neo: Neogen; TMG: Tropical Melhoramento e Genética; NS: Nidera

Fonte: Autor, 2023.

A semeadura foi realizada no dia 26/11/2022, dentro do período recomendado pelo zoneamento agrícola de risco climático para a cultura (ZARC), utilizando um conjunto trator (Massey Ferguson MF4275) – semeadora (Massey Ferguson MF 407, 7 linhas), utilizando o sistema de plantio direto sobre a palhada do trigo. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,5 metros, contendo 14 plantas por metro linear, perfazendo a densidade de semeadura de 310.000 plantas por hectare. O manejo e os tratos culturais, seguiram as recomendações agronômicas para a cultura da soja.

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional (Agropolo NY), instalados com um espaçamento de 12 x 12 metros, operando a uma taxa de aplicação de 12 mm h^{-1} . Para o funcionamento do sistema de irrigação utilizamos uma bomba de 7 cv, tubulação principal com diâmetro de 75 mm e tubulação secundária de 50 mm.

O manejo de irrigação foi realizado baseando-se no balanço hídrico da cultura conforme Allen et al. (1998). O cálculo do balanço hídrico considerou as chuvas e as irrigações suplementares como entrada de água no sistema. Em momentos onde a chuva superou a capacidade de água disponível real do solo (CAD), o valor excedente foi considerado como perda por escoamento superficial e/ou percolação no perfil do solo. A saída de água considerada foi a evapotranspiração da cultura (ETc). A evapotranspiração de referência (ETo), utilizada para obter a ETc, foi a estimada pela estação meteorológica instalada na UFSM Campus de Cachoeira do Sul, pelo método FAO- Penman Monteith. Para a estimativa do Kc (simples), também utilizado para obter a ETc ($ETc = ETo \times Kc$), foi ajustado utilizando a metodologia proposta por Allen et al. (1998) com fração de cobertura do dossel (Fc) com indicativo da inflexão da curva do Kc. O Fc foi obtido com a utilização do aplicativo Canopeo, desenvolvido pela Universidade de Oklahoma – USA. O aplicativo utiliza imagens da cultura fornecidas pelo usuário e realiza uma análise, assim, estimando o Fc. As imagens foram tiradas a 1,5 m acima do solo.

As irrigações foram efetuadas para manter a capacidade de água disponível (CAD) com um esgotamento entre 40 e 50% de esgotamento do total (101 mm). A umidade volumétrica da capacidade de campo é de $0,3184 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e ponto de murcha permanente é de $0,1500 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no perfil de solo com profundidade de 0 a 60 cm.

A aferição do balanço hídrico foi realizada por meio do monitoramento da CAD, a partir da determinação da umidade volumétrica do solo, mensurada por um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific) (Figura 1), constituído por sensores com duas hastes de 30 cm, sendo estas, instaladas em duas profundidades do perfil do

solo: de 0 – 30 cm e de 30 – 60 cm, um na área irrigada e outro na área de sequeiro. O monitoramento foi realizado de forma pontual com leituras sempre antes da irrigação.

Figura 1 -Sensores FDR instalados.



Fonte: Autor, 2023.

A área foliar foi realizada quando as plantas (uma por tratamento) estavam em estágio fenológico de R1-R2, no dia 17 de janeiro, a partir do comprimento e da maior largura do folíolo central do trifólio, sendo realizado manualmente com o auxílio de uma régua. Para calcular a área foliar, foi utilizado a equação sugerida por Richter et al (2014).

$$AF=2,0185 \times C \times L \quad (1)$$

Em que:

C: comprimento do folíolo central de cada trifólio (cm);

L: largura do folíolo central de cada trifólio (cm)

Após foi realizado o cálculo do índice de área foliar (IAF), conforme a equação 2.

$$IAF=AF/AP \quad (2)$$

Em que:

AF: área foliar (cm²);

AP: área ocupada pela planta (cm²).

A colheita das plantas foi realizada de forma manual nas três linhas centrais de cada parcela, sendo três repetições por cada parcela, totalizando 3 m² de área colhida em cada repetição. Após, foi realizado a contagem das plantas, debulha, determinação da umidade dos

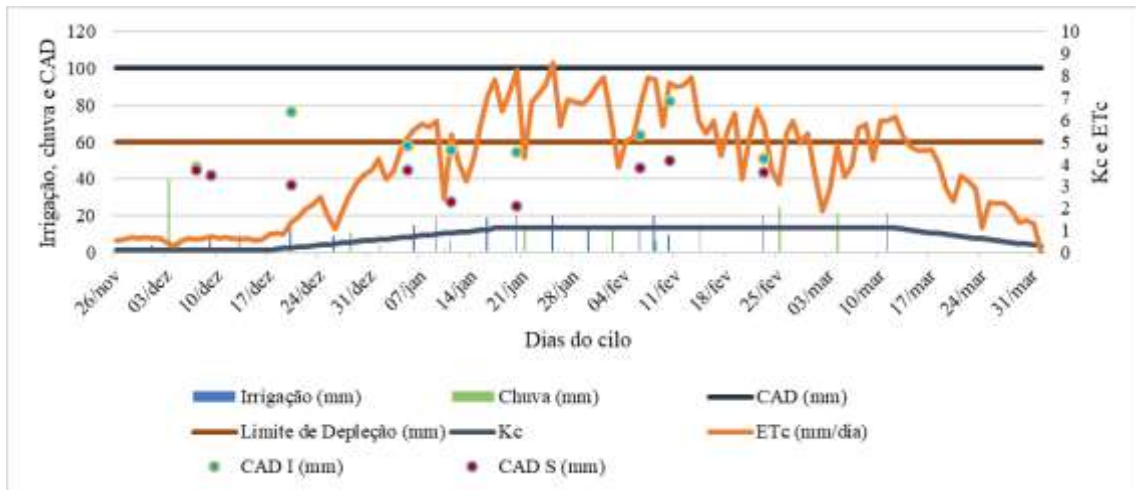
grãos e pesagem individual. O peso obtido foi corrigido para uma umidade de 13% e adequado para um hectare (kg ha^{-1}) dessa mesma amostra obteve-se o peso de mil grãos (PMG) a partir da contagem de 1000 grãos. Ainda, para definir os componentes rendimento, foi realizada a colheita de três plantas aleatórias por parcela, as quais foram processadas a mão, com o objetivo de analisar o número de vagens e o número de grãos por vagem. Pela grande variação de GMR entre as cultivares, a colheita foi realizada entre 01/04 e 20/04, com o intuito de evitar a colheita de plantas verdes e com grãos imaturos.

Foram obtidos valores para as seguintes variáveis: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos (g) e produtividade (kg ha^{-1}). As variáveis foram submetidas à análise no software Sisvar, realizando a análise da variância pelo teste F e análise complementar do fator irrigação pelo teste de “Tukey” e do fator cultivar pelo teste de “Scott Knott” com nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 2 apresenta os dados do balanço hídrico da cultura da soja irrigada e os valores da CAD (mm) obtidos à campo nas áreas de sequeiro e irrigada.

Figura 2 – Balanço hídrico da cultura da soja. Cachoeira do Sul – RS, 2023.



Fonte: Autor, 2023.

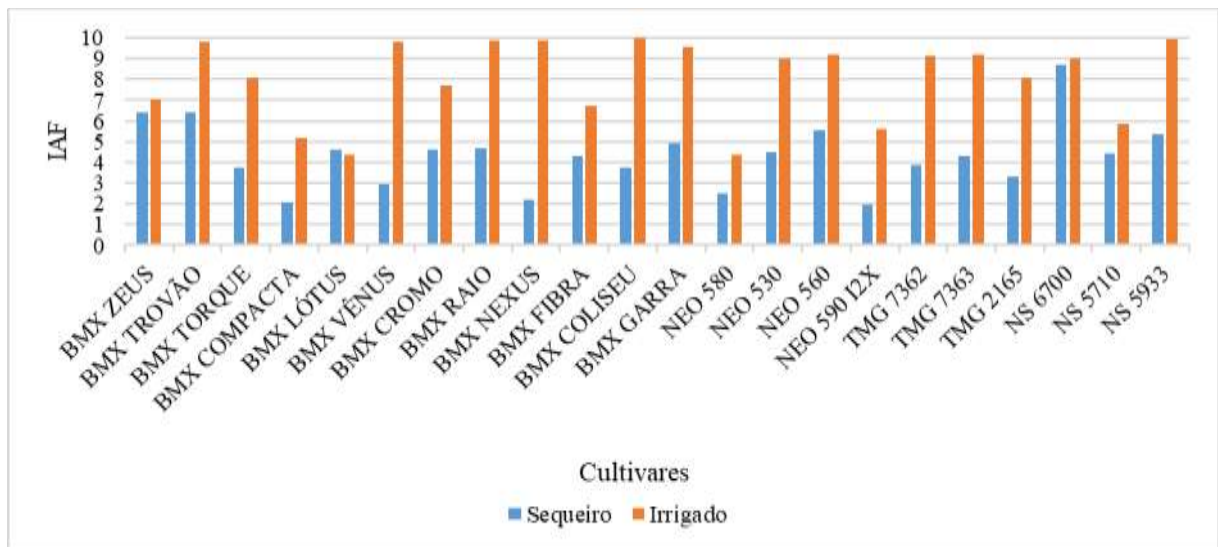
Observa-se a baixa quantidade (151 mm de chuvas acumuladas), muito inferior a ETc da cultura acumulada durante o ciclo de 502 mm. Além disso, a distribuição das chuvas foi irregular, ficando mais de 20 dias consecutivos sem chover, fazendo com que a CAD de sequeiro estivesse sempre abaixo do limite de depleção estabelecido pelo manejo da irrigação, indicando elevada magnitude do déficit hídrico.

A baixa disponibilidade hídrica na fase de estabelecimento da cultura (26/11 a 10/11) pode reduzir a população de plantas por área, na fase de floração (07 a 21/01) impacta no abortamento de flores e com isso, na redução de vagens por planta e, na fase de enchimento de formação e enchimento de grãos, influencia na quantidade de grãos por vagem e PMG. Assim, para manter o nível de água no solo em níveis adequados, ao total 17 irrigações suplementares foram realizadas (244 mm). Desta forma, é possível destacar a importância da irrigação suplementar da soja no Rio Grande do Sul para obter altos índices de produtividade (BATTISTI et al., 2018). A safra de 2022-23 foi marcada pela presença da La Niña pelo terceiro ano seguido, com períodos de estiagem e baixa precipitação ao Rio Grande do Sul, principalmente na primavera (IRGA, 2022).

Na figura 3 é possível observar os impactos gerados pela irrigação suplementar no aumento do IAF das plantas. Zanon et al. (2018), afirma que para atingir altas produtividades é

necessário um IAF maior que 6,3. Nota-se que as cultivares no regime hídrico de sequeiro apresentaram valores de IAF de 1,9 a 8,6. A cultivar NS6700 foi a única que superou valores de IAF de 6,3, chegando a 8,4. Já a cultivar NEO 590 I2X teve IAF de 1,9, refletindo as consequências da baixa disponibilidade hídrica durante o período de estabelecimento da cultura e do acelerado crescimento, conforme a Figura 2. Segundo Taiz; Zeige (2013), a redução do crescimento é um dos primeiros sintomas de estresse hídrico, explicando os baixos IAF das cultivares expostas as condições de sequeiro. As cultivares irrigadas apresentaram elevada variabilidade de IAF's de 4,3 a 9,9. A cultivar NS5933 teve IAF de 9,9, sendo o maior entre as cultivares irrigadas, já a BMX LÓTUS teve IAF de 4,3, sendo o menor valor das cultivares irrigadas. Zanon et al. (2018), afirma que para atingir altas produtividades é necessário um IAF maior que 6,3.

Figura 3- Índice de área foliar das plantas irrigadas e de sequeiro de todas as cultivares, determinado em estágio de R1-R2 (floração). Cachoeira do Sul – RS, 2023.



Fonte: Autor, 2023.

Os tratamentos promoveram diferenças significativas nas variáveis respostas conforme mostra a Tabela 2. Sendo que, para o número de grãos por vagem não houve interação entre os fatores (cultivar x regime hídrico) e diferença entre os regimes hídricos. É importante destacar que, segundo Mundstock; Thomas (2005), grãos por vagem é um componente de rendimento ligado diretamente a genética da cultivar. Para os demais componentes de rendimento e produtividade há interação entre os fatores.

Tabela 2- Resumo da análise de variância para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul – RS, 2023.

Causas da variação	Valor do F calculado			
	Vagens planta ⁻¹	Grãos vagem ⁻¹	PMG	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Cultivar	29,74*	1,87*	29,47*	5,57*
Regime hídrico	574,78*	0,03 ^{ns}	574,78*	1128,81*
Cultivar x Regime hídrico	7,78*	1,21 ^{ns}	7,78*	2,98*
Repetição	9,26*	0,72 ^{ns}	9,26*	2,21 ^{ns}
Média Geral	67,63	2,33	173,03	3141,82
CV (%)	5,66	15,23	5,66	12,22

Em que: *significativo e ^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade

Fonte: Autor, 2023.

No regime hídrico irrigado a cultivar BMX Vênus teve o maior número de vagem por planta (Tabela 3), chegando a 144,3. Em seguida, no grupo “b” destacam-se duas cultivares (BMX TORQUE e NEO 530) em média com 125,5 vagens por planta, seguido do grupo “c” com seis cultivares com média de 102,8 vagens por planta; o grupo “d” foi o que teve o maior número de cultivares (com 88 vagens por planta) e, por fim o grupo “e” das cultivares BMX COMPACTA, BMX LÓTUS, BMX RAI0, BMX GARRA, com 56,7 vagens por planta.

Não é possível associar o número de vagem por planta ao GMR das cultivares, pois houveram cultivares de GMR baixo com elevado número de vagem, como caso da NEO 530 e por outro lado cultivar com GMR similar com baixo número de vagem por planta, a exemplo a BMX RAI0. O inverso também procede, com cultivares de GMR elevado como TMG 7363 com valores elevado deste componente de rendimento, enquanto a cultivar BMX COMPACTA com GMR muito similar apresentou baixa quantidade de vagens por planta. Mostrando que, o pacote tecnológico que cada cultivar possuiu, aliado as condições de manejo e ambientais é que irão impactar neste componente de rendimento.

No regime hídrico de sequeiro, houve um grupo a menos para diferenciar as cultivares que no regime hídrico irrigado (de “a” a “d”), sendo o grupo “a” com duas cultivares apresentado a média de 66,5 vagens por planta, o grupo “b” com seis cultivares e média de 52,9 vagens por planta; o grupo “c” com sete cultivares apresentou a média de vagens por planta de 41,5 e o grupo “d” composto por seis cultivares que apresentaram apenas a média de 29,2 vagens por planta.

Tabela 3- Número de vagens por planta, representando as cultivares nas duas condições de regime hídrico. Cachoeira do Sul – RS, 2023.

Cultivar	Vagem planta ⁻¹			
	Irrigado		Sequeiro	
BMX ZEUS	88,3	dA	58,0	bB
BMX TROVÃO	100,0	cA	40,7	cB
BMX TORQUE	127,0	bA	63,3	aB
BMX COMPACTA	62,0	eA	39,3	cB
BMX LÓTUS	50,7	eA	48,3	bB
BMX VÊNUS	144,3	aA	44,7	cB
BMX CROMO	81,7	dA	28,0	dB
BMX RAI0	55,7	eA	29,3	dB
BMX NEXUS	91,3	dA	51,7	bB
BMX FIBRA	108,7	cA	47,3	bB
BMX COLISEU	97,7	cA	41,7	cB
BMX GARRA	58,3	eA	25,0	dB
NEO 580	88,7	dA	32,3	dB
NEO 530	124,0	bA	57,7	bB
NEO 560	88,0	dA	38,3	cB
NEO 590 I2X	86,0	dA	28,0	dB
TMG 7362	94,3	dA	69,7	aB
TMG 7363	97,7	cA	42,7	cB
TMG 2165	86,0	dA	43,0	cB
NS 6700	87,7	dA	54,7	bB
NS 5710	103,0	cA	32,7	dB
NS 5933	109,7	cA	29,0	dB

Em que: letras minúsculas comparam as cultivares para um mesmo regime hídrico (teste de Scott Knott) e letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para uma mesma cultivar (teste de Tukey).

Fonte: Autor, 2023.

A irrigação suplementar proporcionou o aumento do número de vagens por plantas para todas as cultivares, com exceção a NEO 580 e a NEO 530 que não apresentaram incremento neste componente de produtividade com a irrigação. Em média foram 92 vagens por planta no regime hídrico irrigado e 43 vagens por planta no regime hídrico de sequeiro, havendo um acréscimo médio de 53% neste componente de produtividade com a irrigação. Segundo Streck, 2004; Taiz e Zaiger, 2013, déficits hídricos durante a floração e o enchimento de grãos podem provocar o fechamento dos estômatos e a murcha das folhas, aumentando a queda de flores e provocando o abortamento de vagens. Situação de déficit hídrico evidenciada neste estudo para estes períodos do ciclo de desenvolvimento reprodutivo (máximo Kc) (Figura 2).

O número de grãos por vagem (Tabela 4) foi muito similar entre as cultivares irrigadas (mesmo grupo pelo teste de Scott Knott), com valores médios de 2,33 grãos por vagem. Já, para o regime hídrico de sequeiro, as cultivares com ciclo médio/tardio com GMR próximo a 5,3,

obtiveram os melhores resultados (entre 2,5 e 2,7 grãos por vagem). A irrigação suplementar proporcionou pequenos incrementos neste componente de produtividade para as cultivares BMX FIBRA, BMX COLISEU, TMG 7363 e TMG 2165.

Tabela 4- Número de grãos por vagem, representando as cultivares nas duas condições de regime hídrico. Cachoeira do Sul – RS, 2023.

Cultivar	Grãos vagem ⁻¹			
	Irigado		Sequeiro	
BMX ZEUS	2,6	aA	2,5	aA
BMX TROVÃO	2,4	aA	2,5	aA
BMX TORQUE	2,5	aA	2,2	bA
BMX COMPACTA	2,0	aA	2,3	bA
BMX LÓTUS	2,4	aA	2,7	aA
BMX VÊNUS	2,3	aA	2,7	aA
BMX CROMO	2,5	aA	2,5	aA
BMX RAIO	2,7	aA	2,4	aA
BMX NEXUS	2,1	aA	2,1	bA
BMX FIBRA	2,2	aA	1,9	bB
BMX COLISEU	2,4	aA	1,9	bB
BMX GARRA	2,2	aA	2,2	bA
NEO 580	2,4	aA	2,4	aA
NEO 530	2,3	aA	2,6	aA
NEO 560	2,5	aA	2,4	bA
NEO 590 I2X	2,2	aA	2,3	bA
TMG 7362	2,4	aA	2,2	bA
TMG 7363	2,3	aA	2,1	bB
TMG 2165	2,2	aA	1,9	bB
NS 6700	2,2	aA	2,2	bA
NS 5710	2,5	aA	2,1	bA
NS 5933	2,1	aA	2,7	aA

Em que: letras minúsculas comparam as cultivares para um mesmo regime hídrico (teste de Scott Knott) e letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para uma mesma cultivar (teste de Tukey).

Fonte: Autor, 2023.

Em relação ao PMG, o grupo “a” das cultivares irrigadas teve valor médio de 229,6g, o grupo “b” 202,5g, o grupo “c” 186,6g e o grupo “d” 171,8g. Para as cultivares de sequeiro, a BMX RAIO e a BMX ZEUS, obtiveram os maiores valores de PMG, chegando em média a 206,6g, ambas possuem GMR próximos a 5, sendo consideradas superprecoces, deste modo, as cultivares conseguiram aproveitar as chuvas que ocorreram no período próximo ao enchimento de grãos (25/02), resultando em PMG mais elevados. O grupo “c” obteve PMG médio de 176,3g, o grupo “d” 147,4g e o grupo “e” 122,1 g. O PMG da soja irrigada teve um acréscimo médio de 40 g em relação as cultivares de sequeiro, contribuindo para maiores produtividades,

chegando a 5195,4 kg ha⁻¹ (Tabela 6). Para a soja de sequeiro, as cultivares com ciclo precoce/médio, com GMR de 5 a 6, obtiveram os melhores resultados, mostrando o aproveitamento das chuvas que ocorreram no período de enchimento de grãos. Correa et al. (2019) evidenciaram que a irrigação por aspersão proporciona aumento no PMG.

Tabela 5- Peso de mil grãos, em gramas, de cada cultivar nas duas condições de regime hídrico. Cachoeira do Sul – RS, 2023.

Cultivar	PMG (g)			
	Irrigado		Sequeiro	
BMX ZEUS	232,7	aA	198,2	bB
BMX TROVÃO	205,3	bA	175,6	cB
BMX TORQUE	204,6	bA	152,0	dB
BMX COMPACTA	188,1	cA	144,3	dB
BMX LÓTUS	208,1	bA	153,9	dB
BMX VÊNUS	180,1	cA	152,2	dB
BMX CROMO	206,8	bA	180,9	cB
BMX RAI0	198,0	bB	215,0	aA
BMX NEXUS	158,3	dA	109,8	eB
BMX FIBRA	170,0	dA	123,2	eB
BMX COLISEU	175,9	dA	113,9	eB
BMX GARRA	231,8	aA	175,1	cB
NEO 580	198,3	bA	166,3	cB
NEO 530	196,0	bA	185,4	cB
NEO 560	188,6	cA	174,4	cB
NEO 590 I2X	176,3	dA	139,3	dB
TMG 7362	182,0	cA	150,3	dB
TMG 7363	224,4	aA	130,8	eB
TMG 2165	172,6	dA	129,0	eB
NS 6700	190,6	cA	139,9	dB
NS 5710	177,6	dA	120,2	eB
NS 5933	190,0	cA	128,0	eB

Em que: letras minúsculas comparam as cultivares para um mesmo regime hídrico (teste de Scott Knott) e letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para uma mesma cultivar (teste de Tukey).

Fonte: Autor, 2023.

A produtividade (Tabela 6) média da soja no grupo “a” das cultivares mais produtivas foi de 5043,1 kg ha⁻¹, no grupo “b” 4492,8 kg ha⁻¹, o grupo “c” com 4138,9 kg ha⁻¹ e o grupo “d” 3507,1 kg ha⁻¹. Já no sequeiro, o grupo “a” obteve de produtividade média 2348,6 kg ha⁻¹ e o grupo “b” 1790 kg ha⁻¹ (Tabela 6). Nota-se que máxima produtividade da soja não foi tão elevada, mesmo no regime hídrico irrigado. Pois, Oliveira et al. (2021), na safra 2020/21 em condições similares de estudo (mesmo local) obteve rendimento de 6757,5 kg ha⁻¹. Essa menor produtividade no ano agrícola 2022/23 pode ser atribuído também, as altas temperaturas que

ocorrem no período de floração e formação de grãos, com registros na estação meteorológica da UFSM, próxima ao local do experimento, acima de 39°C.

Tabela 6 - Produtividade das vinte e duas cultivares de soja, em kg ha⁻¹, nas duas condições de regime hídrico. Cachoeira do Sul – RS, 2023.

Cultivar	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
	Irrigado		Sequeiro	
BMX ZEUS	4289,2	cA	1980,2	bB
BMX TROVÃO	4661,5	bA	1967,0	bB
BMX TORQUE	5017,6	aA	1984,9	bB
BMX COMPACTA	5056,9	aA	1601,8	bB
BMX LÓTUS	4996,6	aA	2437,9	aB
BMX VÊNUS	3875,4	cA	2280,9	aB
BMX CROMO	5195,4	aA	2414,0	aB
BMX RAI0	4370,8	bA	2473,6	aB
BMX NEXUS	3543,7	dA	1527,6	bB
BMX FIBRA	4171,5	cA	1753,8	bB
BMX COLISEU	4272,9	cA	1611,6	bB
BMX GARRA	4522,8	bA	2617,9	aB
NEO 580	4948,9	aA	2241,2	aB
NEO 530	3719,5	dA	2165,7	aB
NEO 560	4194,6	cA	2187,0	aB
NEO 590 I2X	3680,2	dA	2319,6	aB
TMG 7362	3945,6	cA	1895,1	bB
TMG 7363	4415,9	bA	2025,8	bB
TMG 2165	3206,6	dA	1789,5	bB
NS 6700	3385,7	dA	1623,4	bB
NS 5710	4192,8	cA	1778,2	bB
NS 5933	4168,8	cA	1730,6	bB

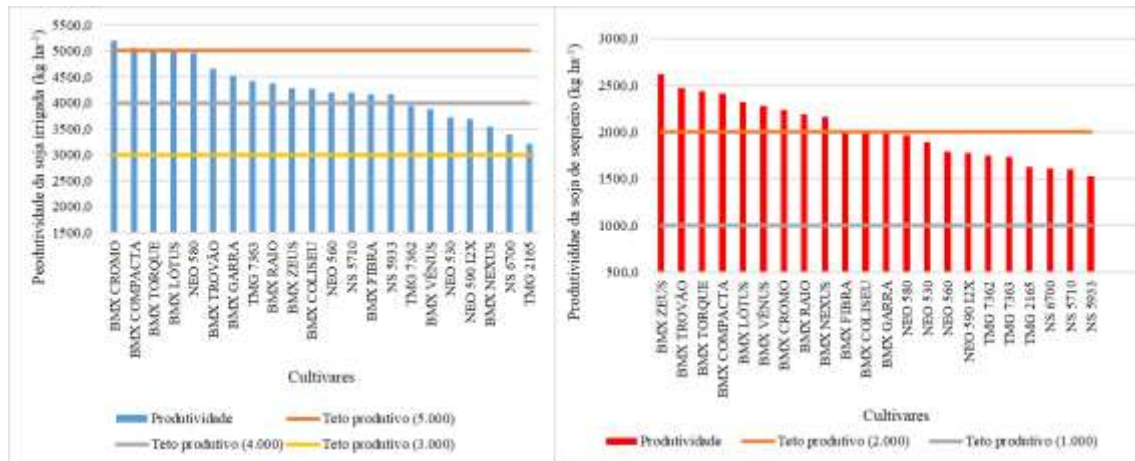
Em que: letras minúsculas comparam as cultivares para um mesmo regime hídrico (teste de Scott Knott) e letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para uma mesma cultivar (teste de Tukey).

Fonte: Autor, 2023.

As cultivares BXM CROMO, BXM COMPACTA, BXM TORQUE, BXM LÓTUS e a NEO 580, respectivamente, obtiveram os melhores resultados produtivos no irrigado, com produtividade de 4948,9 kg ha⁻¹ a 5195,4 kg ha⁻¹ (Figura 4). Já no sequeiro, as cultivares BMX GARRA, BMX RAI0, BMX LÓTUS, BMX CROMO e NEO 590 I2X, tiveram os melhores valores, variando de 2617,9 kg ha⁻¹ a 2319,6 kg ha⁻¹ (Figura 4). Nota-se que as cultivares mais produtivas, são as que apresentam valores intermediários em todos os componentes de produtividade (vagem por planta, grãos por vagem e PMG), não havendo um único componente de rendimento que explique a produtividade da cultura. Além disso, não foi realizada a contagem de planta por área durante a colheita em função do grande número de parcelas, sendo

este um dos componentes de produtividades (plantas/área), que também pode explicar a produtividade, entre os demais demonstrados neste estudo.

Figura 4- Produtividade da soja irrigada e sequeiro e linhas indicativas de tetos produtivos. Cachoeira do Sul – RS, 2023.



Fonte: Autor, 2023.

O incremento da produtividade com a irrigação suplementar foi em média de 53% ou 37 sacas ha⁻¹ a mais que no regime hídrico de sequeiro (Tabela 6 e Figura 4). Corroborando com Oliveira et al. (2020), que observaram ganhos médios de 37% na produtividade da soja em condições de estudo bem similares a deste trabalho. Portanto, a comparação entre os valores obtidos em cada variável reposta avaliada neste estudo, evidencia que a irrigação suplementar é fundamental para a garantia e aumento de produtividade da cultura da soja. Já, em áreas de sequeiro, a busca por estratégias baseadas no histórico pluviométrico da região e em características da cultivar, como o GMR, época de semeadura, entre outros, se tornam fundamentais para diminuir os impactos causados pelo déficit hídrico dos últimos anos.

Ademais, cabe salientar que a escolha da cultivar é uma tarefa importante na tomada de decisão, pois são muitas cultivares disponíveis e existem diferenças significativas em resposta produtiva entre elas, que pode ser otimizada com a escolha correta para dado local e época de semeadura. Assim, os resultados destes estudos podem contribuir para essa tomada de decisão em nível local, para condições similares os da realização do experimento de campo.

4 CONCLUSÕES

Observou-se para o ano agrícola de 2022/23 em Cachoeira do Sul, que as chuvas foram em baixas quantidades e má distribuídas durante o ciclo da soja, totalizando apenas 152 mm de chuva, insuficiente para suprir a necessidade da cultura.

A irrigação suplementar de 244 mm agregou valores significativos ao desempenho agrônômico da soja, incrementou em aproximadamente 86% o IAF das plantas, em 114 % as vagens por plantas, em 26% o PMG e, em média, 111% a mais de produtividade.

Não houve uma cultivar que teve o melhor resultado em todas as variáveis analisadas, isso porque cada uma possui características específicas que influenciam de forma diferente em cada uma das variáveis.

As cultivares BXM CROMO, BXM COMPACTA, BXM TORQUE, BXM LÓTUS e a NEO 580, obtiveram os melhores resultados no regime hídrico irrigado, com produtividade de 4948,9 kg ha⁻¹ a 5195,4 kg ha⁻¹.

No regime hídrico de sequeiro, as cultivares BMX GARRA, BMX RAIIO, BMX LÓTUS, BMX CROMO e NEO 590 I2X, tiveram os melhores valores de produtividade, variando de 2617,9 kg ha⁻¹ a 2319,6 kg ha⁻¹.

Recomenda-se que a escolha da cultivar seja baseada em informações locais/regionais e que levem em consideração o tipo de manejo adotado na área (maior ou menor nível tecnológico, incluindo o uso da irrigação).

5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.** - 2. ed. -- Brasília: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Atlas Irrigação atualiza área irrigada total no Brasil em 8,2 milhões de hectares.** Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/atlas-irrigacao-atualiza-area-irrigada-total-no-brasil-em-8-2-milhoes-de-hectares> Acesso em: 29 de abril. 2023.

ALLEN, R.G. et al. Crop Evapotranspiration. **Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300 pp, 1998.

ALMEIDA, V., JÚNIOR, J. A., MESQUITA, M., EVANGELISTA, A. W. P., CASAROLI, D., & BATTISTI, R. **Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial, (2018).** v. 11 n. 2 (2018): GST - GLOBAL SCIENCE AND TECHNOLOGY.

BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul.** 1987. 93f. Tese (Doutorado em Meteorologia) Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.

CONAB. 2022. **Produção nacional de grãos é estimada em 312,2 milhões de toneladas na safra 2022/23.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4847-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-312-2-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23> Acesso em: 16 de abril. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ...[et al.].** – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Soja em número (safra 2021/22)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em: 16 de abril. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2014**. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n.16).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Produção Agrícola – Lavoura Temporária: Cachoeira do Sul**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cachoeira-do-sul/pesquisa/14/10193> Acesso em: 16 de abril. 2023.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Cenário da estiagem está se agravando**. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/cenario-da-estiagem-esta-se-agravando-dia-apos-dia> Acesso em: 3 de maio. 2023.

LOPES, F.; BERLATO, M. A. **Impactos da La Niña nas Temperaturas Médias Mínimas no Estado do Rio Grande do Sul**. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13.; 2001, Porto Alegre, Anais... Porto Alegre: UFRGS, 2001.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 31p.

OLIVEIRA, Z. B., EDUARDO KNIES, A., & TEXEIRA GOMES, J. I. (2020). **Produtividade de cultivares de soja com e sem irrigação suplementar para a safra e safrinha de 2019/20 na região central do RS**. Brazilian Journal of Development, Vol. 6 No. 10, 2020.

OLIVEIRA, Z. B., EDUARDO KNIES, A., BOTTEGA, E.B., SILVA, C. B., & TEXEIRA GOMES, J. I. **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, v.7, n.2, p. 15580-15595 feb. 2021.

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

SENTELHAS, P. C; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S; FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.C.; NENDEL, C. **The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production**. *Journal of Agriculture Science, Cambridge*, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

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

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

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

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos**. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Ed.) *Soja: manejo para alta produtividade de grãos*. Porto Alegre: Evangraf, 2010, p.13-33, 248p.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Influência do déficit hídrico sobre o tamanho das sementes e vigor das plântulas de soja**. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 2, p. 57-61, 1996.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. 2010. **Soja – Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 248p.