

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

Clarissa Moraes da Silva

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA EM
DOIS REGIMES HÍDRICOS E DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA EM
CACHOEIRA DO SUL**

Cachoeira do Sul, RS
2019

Clarissa Moraes da Silva

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA EM
DOIS REGIMES HÍDRICOS E DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA EM
CACHOEIRA DO SUL**

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 Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Orientador (a): Prof^a. Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Cachoeira do Sul, RS
2019

Clarissa Moraes da Silva

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA EM
DOIS REGIMES HÍDRICOS E DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA EM
CACHOEIRA DO SUL**

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 Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 12 de julho de 2019:

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

Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)

Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2019

DEDICATÓRIA

A minha família e amigos, que com muito amor e apoio me auxiliaram a tornar realidade o sonho de ser Engenheira Agrícola.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho ocorreu graças a junção de sentimentos e dedicação de muitas pessoas que contribuíram para o desenvolvimento deste estudo. Por isso, de uma forma especial, agradeço:

- à Deus, agradeço por minha vida e por guiar meus passos e escolhas que me foram impostas ao longo da minha trajetória;

- à minha orientadora Zanandra Boff de Oliveira, pela oportunidade concedida, pela confiança em mim depositada, pela amizade construída, pelos conhecimentos compartilhados, assim como pela pessoa incentivadora, dedicada, batalhadora e fiel aos seus alunos, grata pela orientação;

- aos meus pais Manoel Flores da Silva e Eliane Moraes da Silva, pelo amor incondicional e verdadeiro, pelo apoio em todos os momentos, pelo auxílio nas tarefas desenvolvidas para com este trabalho e pela compreensão quanto aos afastamentos necessários para confecção do mesmo, obrigada;

- à minha irmã e meu cunhado, pela força e incentivo em todos os momentos da minha vida;

- ao meu sobrinho, pelos momentos descontraídos e por tornar minha vida mais leve;

- ao meu companheiro, por ser meu apoio nos momentos difíceis, pela compreensão e carinho;

- aos meus amigos que compõem o GEPAB - Grupo de Ensino e Pesquisa em Ambiente e Biometeorologia (UFSM), pela ajuda mútua e incomparável para realização deste trabalho e pela amizade construída;

- 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;

- aos professores que tive a oportunidade de ser aluna ao longo do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM Campus Cachoeira do Sul, todos foram de extrema importância para minha formação, assim como para a concretização deste trabalho. Minha gratidão será eterna;

- 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.

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.”

(John Ruskin)

RESUMO

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA EM DOIS REGIMES HÍDRICOS E DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA EM CACHOEIRA DO SUL

AUTORA: Clarissa Moraes da Silva
ORIENTADORA: Zanandra Boff de Oliveira

O objetivo deste estudo foi analisar o desenvolvimento e produtividade de três cultivares de soja em duas épocas de semeadura utilizando dois regimes hídricos no município de Cachoeira do Sul – RS. Foram realizados dois experimentos de campo na área experimental da UERGS, em duas épocas de semeadura: 21/11/2018 (safra) e 11/01/2019 (safrinha). O delineamento experimental utilizado foi em faixas com 4 repetições, em esquema fatorial (2x3). O fator A constituiu em dois regimes hídricos: irrigado e não irrigado; e o fator B foi constituído de três cultivares de soja: NS 4823, NA 5909 e NS 6909. Analisou-se os componentes do rendimento, por meio do: número de vagens planta⁻¹; número de grãos vagem⁻¹; peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (kg ha⁻¹). A irrigação suplementar de 134,5 mm realizada na safra, incrementou em aproximadamente 18% o IAF das plantas, em 5,2% o PMG e 7,5% o rendimento. Enquanto que na safrinha, a irrigação suplementar não trouxe benefícios aos componentes do rendimento e no rendimento de grãos. A semeadura de safrinha resultou em um encurtamento médio de 15 dias no ciclo de desenvolvimento das três cultivares. Na safra e safrinha, a cultivar NS 4823 apresentou valores intermediários em todos os componentes do rendimento resultando em maiores rendimentos de grãos de 4852,7 e 1919,6 kg ha⁻¹ respectivamente. A semeadura na época preferencial (safra) para Cachoeira do Sul resultou em melhores indicadores agronômicos para a cultura da soja, independente do regime hídrico utilizado e da cultivar escolhida.

Palavras-chave: Irrigação. Rendimento. Soja.

ABSTRACT

AGRONOMIC PERFORMANCE OF SOYBEAN CULTIVARS IN TWO DIFFERENT WATER REGIMES AND TWO SOWING SEASONS IN CACHOEIRA DO SUL

AUTHOR: Clarissa Moraes da Silva
ADVISOR: Zanandra Boff de Oliveira

The objective of this study was to analyze the development and productivity of three cultivars of soybean in two sowing seasons using two different water regimes in the municipality of Cachoeira do Sul - RS. There were performed two field experiments in the experimental area of UERGS, in two different sowing seasons: 11/21/2018 (conventional crop) and 01/11/2019 (short crop). The experimental design used was in bands whit 4 replications, in a factorial scheme (2x3). The factor A was constituted in two hydric regimes: irrigated and not irrigated; and the factor B was constituted by three different soybean cultivars: NS 4823, NA 5909 and NS 6909. The income components were analyzed by: number of pods per plant⁻¹; number of grains per pod⁻¹; weight of a thousand grains (PMG) and grain yield (kg ha⁻¹). The additional irrigation of 134.5 mm held in the conventional crop has increased the IAF of the plants in 18%, the PMG in 5.5% and the yield in 7.5%. While in the short crop, the additional irrigation hasn't brought any benefits to the yield components or to the grain components. The short crop sowing has resulted in a medium shortening of 15 days on the cycle of development of cultivars. In the conventional crop and in the short crop, the cultivar NS 4823 has presented intermediate values in all components of income and resulting in bigger grain yields of 4852.7 and 1919.6 kg ha⁻¹ respectively. The sowing at the preferential season (conventional crop) for the municipality of Cachoeira do Sul has resulted in better agronomic indicators for the culture of soybean, independent of the hydric regime used or the cultivar chosen.

Key-words: Irrigation. Income. Soybean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Coleta de amostras indeformadas de solo realizada na área experimental. Cachoeira do Sul, 2019..	16
Figura 2 – Ilustração do sistema de irrigação. Cachoeira do Sul, 2019.	17
Figura 3 – Gráfico de distribuição do balanço hídrico calculado para a primeira época (safra). Cachoeira do Sul, 2019.	19
Figura 4 – (a) Distribuição dos sensores FDR no perfil do solo; (b) Coleta de dados com datalogger. Cachoeira do Sul, 2019	19
Figura 5 – Planta identificada na parcela de estudo. Cachoeira do Sul, 2019.....	20
Figura 6 – Mensuração do folíolo com o auxílio de uma régua. Cachoeira do Sul	21
Figura 7 – Balanço hídrico da cultura da soja em regime hídrico irrigado e não irrigado para duas épocas de semeadura (safra-safrinha). Cachoeira do Sul, 2019	23
Figura 8 – Radiação solar e número de horas de sol ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja nas duas épocas de semeadura analisadas. Cachoeira do Sul, 2019.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Cachoeira do Sul (RS), 2019.....	16
Tabela 2 – Resultados do balanço hídrico nas diferentes etapas de desenvolvimento da cultura em regime hídrico irrigado e não irrigado para as duas épocas de semeadura estudadas. Cachoeira do Sul, 2019.....	24
Tabela 3 – Indicadores estatísticos para as variáveis respostas obtidas para as duas épocas de semeadura estudadas. Cachoeira do Sul, 2019	25
Tabela 4 – Resultado das diferentes variáveis indicativas do desempenho agronômico da cultura da soja para os regimes hídricos irrigado e não irrigado, para as duas épocas de semeadura analisadas. Cachoeira do Sul, 2019.....	26
Tabela 5 – Resultado das diferentes variáveis indicativas do desempenho agronômico da cultura da soja para as diferentes cultivares, para as duas épocas de semeadura estudadas. Cachoeira do Sul, 2019.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 METODOLOGIA.....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4 CONCLUSÕES.....	32
5 REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem apresentado um crescimento mundial nos últimos anos, devido ao emprego de novas tecnologias e estudos avançados. O cultivo da soja (*Glycine max*) destaca-se neste cenário. A cultura é considerada uma das mais importantes entre as leguminosas, originada de clima temperado, possui ampla adaptação aos climas subtropicais e tropicais e, em função dos teores elevados de proteína (40%) e óleo (20%) e de sua produtividade de grãos, apresenta grande importância econômica (BONATO et al., 2000; SEDIYAMA et al., 2005). O óleo extraído do seu grão é utilizado na alimentação humana, produção de biodiesel, como desinfetante, lubrificante e outros fins. O farelo é importante na alimentação humana, animal e fabricação de outros produtos (SEDIYAMA et al., 2015). Segundo Streck et al. (2008) a cultura da soja é a principal fonte de óleo vegetal do mundo.

De acordo com dados divulgados pela Embrapa (2018), no ano agrícola 2017/2018, foram produzidos 336.699 milhões de toneladas no mundo em uma área plantada de 124.580 milhões de hectares. A região subtropical da América do Sul (Brasil, Argentina e Paraguai) tem a maior área de cultivo de soja no mundo, com mais de 50 milhões de hectares cultivados anualmente (FAO, 2017). O Brasil é o segundo maior produtor mundial da cultura e produz aproximadamente 28% do total produzido no mundo. Na mesma safra, produziu 116.996 milhões de toneladas em uma área de 35.100 milhões de hectares. Apesar de não ser o líder mundial em quantidade produzida, o país apresenta uma média de produtividade de 3.333 kg ha⁻¹, ultrapassando a produtividade média de 3.299 kg ha⁻¹ apresentada pelos Estados Unidos da América, que é o atual maior produtor mundial do grão (EMBRAPA, 2018).

O estado do Rio Grande do Sul aparece em terceiro lugar no ranking entre os estados que mais produzem soja no Brasil. No ano de 2018, produziu 17,08 milhões de toneladas cultivadas em 5,71 milhões de hectares. Se considerada a evolução da cultura nos últimos 10 anos, houve uma ampliação de 112,92% na produção (de 8,02 milhões de toneladas, em 2009, para 17,08 milhões de toneladas, em 2018), enquanto que a área cresceu 49,35% (EMATER, 2018a). Castro e Viana (2013) observaram que houve um aumento de 7,28% da área plantada na região central do estado. Nesta região, destaca-se o município de Cachoeira do Sul, como segundo maior produtor do grão no estado, com uma área cultivada de 142,7 mil hectares, produzindo aproximadamente 390 mil toneladas (EMATER, 2018b).

Ainda que a produção da soja tenha apresentado um crescimento nas últimas safras, no Rio Grande do Sul o rendimento de grãos dessa cultura apresenta grandes oscilações entre locais e anos. Isso ocorre devido à grande variabilidade na quantidade e distribuição das chuvas,

tornando a disponibilidade hídrica ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura o principal limitador das altas produtividades de soja (SENTELHAS et al., 2015; ZANON et al. 2016), corroborando com Zanon et al. (2018a), que concluíram que dentre os fatores inerentes à produção agrícola, o clima continua aparecendo como aquele de mais difícil controle e maior ação sobre a limitação às máximas produtividades.

Matzenauer et al. (2003), estudando a estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul, observaram que é frequente a ocorrência de deficiência hídrica durante o período crítico da soja, podendo-se esperar uma redução de rendimento de grãos de soja em nove a cada vinte safras. Segundo Farias et al. (2001), a soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água: da semeadura à emergência e no enchimento dos grãos. Durante a germinação, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura.

Para atingir o potencial de produtividade da cultura da soja, são necessários aproximadamente 800 mm de água ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (ZANON et al., 2018b). Para estimar o consumo de água, é importante conhecer a evapotranspiração da cultura. De acordo com Fernandes e Turco (2003), a evapotranspiração de referência (ET_o) é uma técnica indireta que conduz a uma estimativa das necessidades de água pelas plantas, uma vez utilizado um coeficiente de cultura (na condição de que ele seja conhecido para a vegetação estudada), possibilitando a determinação da quantidade de água realmente perdida pela cultura, ou seja, a evapotranspiração da cultura.

Silva et al. (2018) identificaram uma evapotranspiração de 467 mm durante o ciclo de desenvolvimento da soja no município de Cachoeira do Sul no ano agrícola 2017/2018 quando analisaram cultivares de ciclos precoce, médio e tardio, e concluíram que há necessidade de irrigação suplementar para manutenção da disponibilidade hídrica no solo para alcançar uma maior produtividade na região. O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para se determinarem as reais necessidades de água para a cultura, a fim de preservar esse líquido tão importante para a vida terrestre (FERNANDES e TURCO, 2003). Mazzalli et al. (2018) afirmam a importância no planejamento e manejo de sistemas de irrigação para o cultivo da soja, bem como na utilização sustentável da água na agricultura na região central do Rio Grande do Sul.

Os efeitos da deficiência hídrica sobre o potencial de rendimento de soja dependerão da intensidade, duração, época de ocorrência e interação com outros fatores determinantes do rendimento de grãos. Influida, principalmente, sobre fotossíntese, respiração, crescimento, absorção e transporte de nutrientes, além de provocar modificações enzimáticas e alterações

hormonais que afetam outros processos na planta (CUNHA et al., 2001). Segundo Bergamaschi et al. (2006), se o déficit hídrico ocorrer na fase vegetativa, o efeito sobre o rendimento de grãos é menor, no entanto, ocorre redução no crescimento das plantas, com decréscimo da área foliar e biomassa. Entretanto, Peixoto et al. (2002) obtiveram um resultado que indica que a deficiência hídrica ocasionada por períodos de veranicos na fase de enchimento de grãos da cultura da soja é o fator que mais influi negativamente na produção de massa seca na parte aérea e produtividade de grãos, corroborando com Zanon et al. (2018b) que concluíram que os períodos críticos que não pode ocorrer deficiência hídrica na cultura da soja visando altas produtividades são no estabelecimento da cultura e na formação de legumes e enchimento de grãos.

Em uma análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul, Mota et al. (1996) concluíram que em todas as regiões do Estado há necessidade de irrigação, considerando o período de semeadura recomendado e as cultivares de todos os grupos de maturação. Haja vista que, conforme indicam Cunha et al. (2001), a disponibilidade hídrica limita a expressão do potencial de rendimento na cultura de soja no Rio Grande do Sul.

Segundo Fernandes e Turco (2003), durante a irrigação suplementar o solo deve receber a mesma quantidade que perdeu pela evaporação de sua superfície livre e pela transpiração do vegetal, uma vez que aplicações de água insuficientes repõem água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo toda a zona das raízes e estas tornam-se superficiais e incapazes de explorar o volume de solo disponível. Mas, se a irrigação ocorrer em excesso, além de aumentar os custos de produção, parte da água é perdida por percolação profunda (abaixo da zona explorada pelas raízes) e favorece a proliferação de microorganismos patogênicos.

Nascimento et al. (2018), avaliando os aspectos agrônômicos para a escolha de cultivares de soja, observaram que dentre as inúmeras decisões que o agricultor deve tomar em todas as safras, questões referentes ao genótipo, ambiente de produção e a interação entre eles ocupam posição de destaque. Visando a otimização da utilização dos recursos ambientais tais como radiação, água e nutrientes a escolha do genótipo a ser utilizado (mais adaptado a região de cultivo) e o arranjo espacial das plantas (ou população: combinação entre densidade de semeadura e espaçamento) são algumas das tomadas de decisão iniciais mais relevantes em se tratando da definição do potencial produtivo das lavouras. De acordo com Cunha et al. (2001), dentre as técnicas de manejo capazes de sobrepujar total ou parcialmente a deficiência hídrica, pode-se destacar a escolha da cultivar, a época de semeadura, o aumento do nível de matéria orgânica, o plantio direto, a irrigação, o uso de quebra-ventos e o menor espaçamento entre

linhas. Também é fundamental que se evite semear em épocas de risco indicadas por estudos de zoneamento agroclimático (MOTA, 1983; NEUMAIER et al., 2000). Concordando com Matzenauer (2003) que identificou que além da irrigação suplementar, o escalonamento da semeadura e a utilização de cultivares de distintos grupos de maturação, podem reduzir os riscos causados pela deficiência hídrica.

Fernandes e Turco (2003) observaram que o conhecimento do consumo de água nas etapas de desenvolvimento permite um ajustamento de épocas de semeadura, dentro da estação de crescimento, em função da disponibilidade hídrica média da região considerada, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações. De acordo com Cunha et al. (2001), além do escalonamento de épocas de semeadura, recomenda-se a diversificação de cultivares para reduzir riscos de prejuízos por seca.

Devido à importância econômica dessa cultura para o Brasil e para o estado do Rio Grande do Sul novas cultivares de soja são lançadas anualmente. Verneti e Verneti Junior (2009) indicam que estudos básicos devem ser realizados de forma constante para auxiliar extensionistas e consultores a entenderem melhor os aspectos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento dessas novas cultivares.

Diante do exposto, justifica-se a necessidade de aliar as melhores épocas de semeadura com as cultivares indicadas para a região central do estado, bem como proporcionar condições ambientais que possam gerar uma melhor produtividade da cultura. O objetivo do presente estudo foi analisar o desenvolvimento e produtividade de três cultivares de soja em duas épocas de semeadura utilizando dois regimes hídricos no município de Cachoeira do Sul – RS.

2 METODOLOGIA

Foram realizados dois experimentos de campo com a cultura da soja em área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada no distrito de Três Vendas no município de Cachoeira do Sul - RS (29°53' S e 53°00' W, altitude de 125 m), na região da depressão central do estado do Rio Grande do Sul, no ano agrícola 2018/2019. O clima da região é classificado de acordo com Köppen como subtropical úmido, predominante na região Sul (ALVARES et al., 2013). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

Foram conduzidos experimentos em duas épocas de semeadura: (i) a primeira data de semeadura foi no dia 21 de novembro de 2018 (safra) e a segunda foi no dia 11 de janeiro de 2019 (safrinha).

Os experimentos foram realizados no delineamento experimental em faixas com quatro repetições, em esquema fatorial (2x3). O fator A constituiu em dois regimes hídricos: i) irrigado; ii) não irrigado; e o fator B foi constituído de três cultivares de soja de diferentes ciclos de desenvolvimento: i) Nidera 4823 RR (NS 4823); ii) Nidera 5909 RG (NA 5909); iii) Nidera 6909 IPRO (NS 6909). As cultivares NS 4823, NA 5909 e NS 6909 apresentam ciclos de desenvolvimento superprecoce, precoce e médio, e pertencem aos grupos de maturidade relativa (GMR) de 4,8, 6,2 e 6,3, respectivamente. As parcelas (unidades experimentais) possuíram dimensões de 5 x 2,5 m.

A semeadura foi realizada com um conjunto trator/semeadora, no sistema de plantio direto sobre aveia e nabo forrageiro com espaçamento entrelinhas de cultivo de 50 cm e 14 plantas por metro linear (28 plantas m⁻²). Foram aplicados 330 kg ha⁻¹ de adubação de base com a formulação 02-30-15 (N-P-K). Os demais manejos e tratos culturais, seguiram as recomendações agronômicas para a cultura da soja.

A caracterização físico-hídrica do solo da área experimental foi realizada utilizando amostras de solo deformadas e indeformadas (três anéis por camada), conforme ilustrado na Figura 1. As amostras foram enviadas para análise no Laboratório do Sistema Irriga – UFSM, Campus Sede onde realizou-se análise de textura e curva característica de água no solo. Os principais resultados estão apresentados na Tabela 1.

Figura 1 - Coleta de amostras indeformadas de solo realizada na área experimental. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

Tabela 1 - Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Cachoeira do Sul, 2019.

Camadas (m)	Granulometria (%)			Umidade volumétrica (cm ³ cm ⁻³)		CTA (mm)	CAD (mm)
	Areia	Silte	Argila	CC	PMP		
0,0 - 0,20	51,6	36,0	12,4	0,28	0,12	33,03	11,56
0,20- 0,40	44,3	42,8	13,0	0,32	0,13	37,65	13,18
0,40- 0,60	38,7	43,6	17,7	0,34	0,14	41,34	14,47
					Total	112,02	39,15

Em que: CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; CTA: Total de água armazenada; CAD: Capacidade de água disponível.

Fonte: Autor.

O total de água armazenada (CTA) foi determinada a partir da diferença entre os valores de umidade volumétrica do solo (cm³ cm⁻³) na capacidade de campo e ponto de murcha permanente e posterior multiplicação pela espessura da camada do perfil do solo. Para determinação da capacidade de água disponível (CAD) multiplicou-se os valores de CTA de cada camada pelo fator depleção.

A cultura foi irrigada sempre que o armazenamento de água do solo foi esgotado a 35% da CTA, na camada de 0 a 40 cm de profundidade de perfil do solo, na fase inicial e, na camada

de 0 a 60 cm nas fases intermediárias e final do ciclo. Para isso, considerou-se a CAD 0-40 de 24,73 mm e a CAD de 0-60 de 39,15 mm (Tabela 1), ambas utilizadas como gatilho para a recomendação da necessidade de irrigação.

A irrigação foi realizada por meio de aspersores convencionais, instalados a cada 6 metros, conforme mostrado na Figura 2, com uma taxa de aplicação de 12 mm h⁻¹ determinada por um pluviômetro instalado no local.

Figura 2 - Ilustração do sistema de irrigação. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

A determinação da necessidade de irrigação baseou-se na metodologia proposta por Allen et al. (1998). Para o cálculo da ET_o (evapotranspiração de referência) utilizou-se a equação FAO-Penman-Monteith (Equação 1).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Em que:

ET_o: evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

R_n: radiação líquida na superfície da cultura (MJ m⁻²d⁻¹);

G: densidade de fluxo de calor do solo (MJ m⁻² d⁻¹);

T: média da temperatura do ar a 2,0 m de altura ($^{\circ}\text{C}$);

U_2 : média da velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s^{-1});

$(e_s - e_a)$: deficit de pressão de vapor do ar, medido a 2,0 m de altura (kPa);

Δ : declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$);

γ : constante psicrométrica ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Os dados meteorológicos de: temperatura do ar máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), velocidade do vento (m s^{-1}), foram obtidos de dados da previsão do tempo no site climatempo.com.br, conforme proposto por Oliveira (2015). Os dados foram anotados diariamente (sempre no intervalo entre 15:00 e 21:00 horas) para cálculo em tempo real. Os dados de precipitação (mm) foram obtidos de um pluviômetro instalado na área experimental. Os dados de radiação solar ($\text{kJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) foram estimados conforme proposto por Allen (1998) com dados de temperatura do ar. Os valores de coeficiente de cultivo (K_c) necessários para o cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), basearam-se no proposto por Allen et al. (1998). As precipitações e irrigações (mm) foram consideradas as entradas no sistema e a ET_c foi considerada como saída. A percolação profunda e o escoamento superficial da água não foram considerados para o cálculo do balanço hídrico. As chuvas que excederam a CAD (Tabela 1) não foram consideradas no balanço hídrico. Para tanto a necessidade de irrigação foi calculada da seguinte maneira:

Dia 1 \rightarrow CAD calculada: $\text{CAD} - ET_c + \text{chuva} + \text{irrigação}$

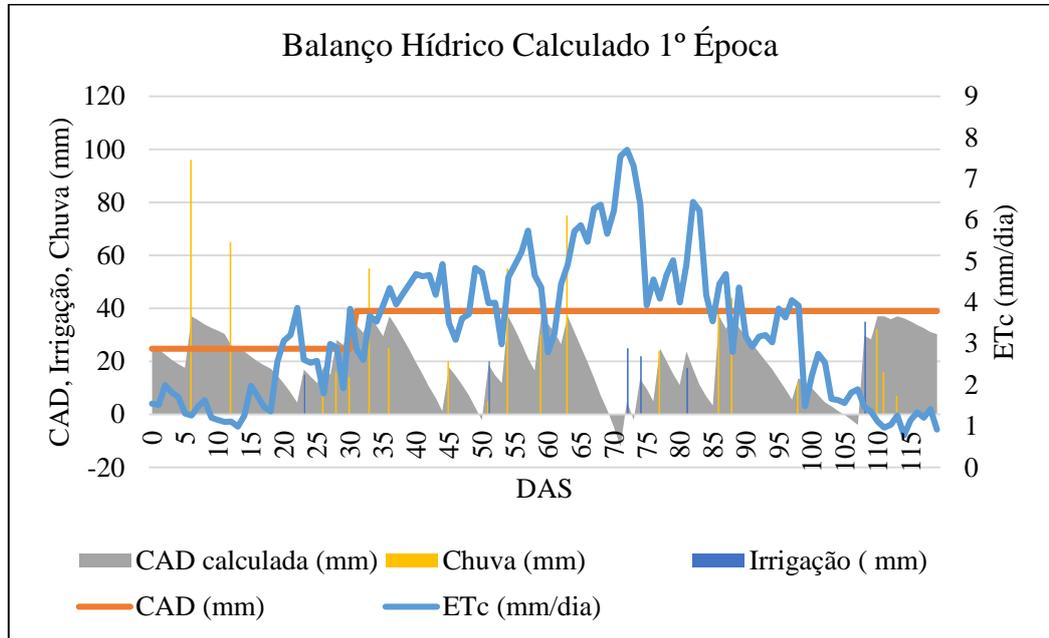
Dia 2 \rightarrow CAD calculada: $\text{CAD dia 1} - ET_c + \text{chuva} + \text{irrigação}$,

Sempre que a CAD calculada zerou, realizou-se uma irrigação suplementar conforme ilustra a Figura 3, em que o balanço hídrico calculado para a recomendação da necessidade de irrigação para primeira época de semeadura está ilustrado.

Para aferição da CAD, a determinação do conteúdo de água no solo foi realizada utilizando um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific), constituído por um datalogger, multiplexadores e sensores os quais realizam a medida direta da umidade volumétrica.

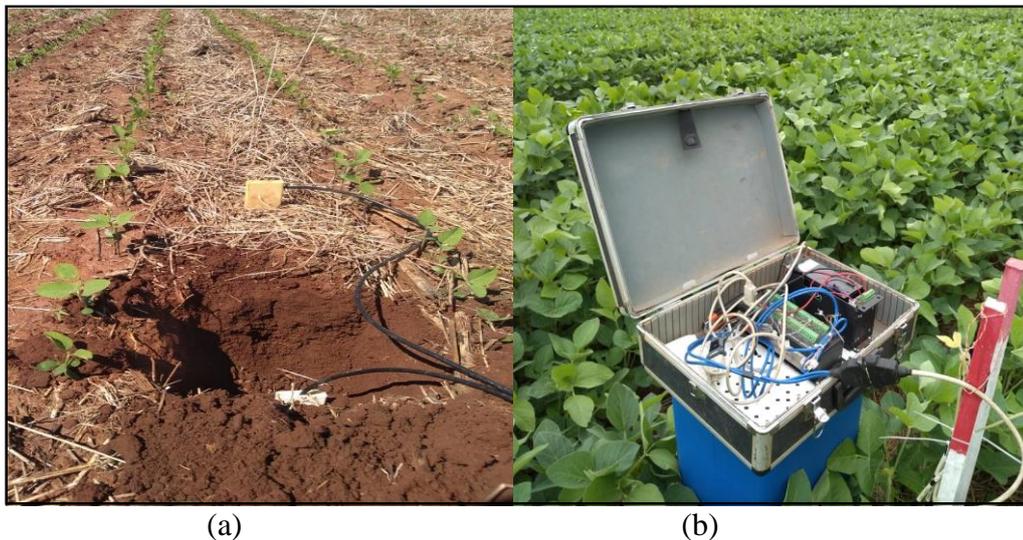
Foram instalados quatro sensores FDR, dois na área irrigada e dois na área não irrigada. Cada dupla de sensores foi instalada de forma a explorar as camadas de 0 a 30 cm e de 30 a 60 cm de profundidade do perfil do solo, conforme ilustrado na Figura 4a. As leituras da umidade volumétrica foram realizadas semanalmente com um datalogger Modelo CR10X Campbell Sci (Figura 4b).

Figura 3 – Gráfico de distribuição do balanço hídrico calculado para a primeira época (safra).
Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

Figura 4 – (a) Distribuição dos sensores FDR no perfil do solo; (b) Coleta de dados com datalogger. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

A disponibilidade de água no solo (mm) no dia da leitura, foi calculada pela subtração entre a umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) do dia e umidade volumétrica no PMP (Tabela

1), para as camadas do perfil do solo de abrangência dos sensores (0-30 e 30-60 cm) e posterior multiplicação pela espessura da camada (mm). O somatório do armazenamento de água nas camadas dos sensores foi denominado de CAD atual (CAD atual NI para não irrigado e CAD atual I para irrigado).

A partir da emergência das plantas de soja, foram marcadas oito plantas de cada cultivar (Figura 5) nas quais foram realizadas avaliações fenológicas semanalmente. Os dados fenológicos foram organizados em dois subperíodos: vegetativo e reprodutivo; analisou-se, também, a duração total do ciclo de desenvolvimento da cultura (total do ciclo). As durações dos subperíodos e do ciclo total foram calculadas em dia após a semeadura (DAS) - em dias julianos. Utilizou-se a escala fenológica proposta pela Embrapa (2007).

Avaliações morfológicas das plantas: área foliar e altura de plantas; foram realizadas no dia 21 de janeiro (avaliação 1) na primeira época de semeadura e no dia 20 de fevereiro (avaliação 2) na segunda época de semeadura., quando as plantas estavam em estágio fenológico de R1-R2. Coletou-se uma planta de cada parcela experimental e mensurou-se o comprimento e a maior largura do folíolo central do trifólio de forma manual com o auxílio de uma régua, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 5 – Planta identificada na parcela de estudo. Cachoeira do Sul, 2019.



Figura 6 - Mensuração do folíolo com o auxílio de uma régua. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

A área foliar foi estimada pela Equação 2, conforme sugere Richter et al (2014).

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

Em que:

AF: área foliar (cm²);

2,0185: fator de correção;

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

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

Após, foram calculados os índices de área foliar (IAF), conforme Equação 3:

$$IAF = \frac{AF}{AP} \quad (3)$$

Em que:

IAF: índice de área foliar (cm² cm⁻²)

AF: área foliar (cm²);

AP: área ocupada pela planta (cm²).

A área ocupada pela planta (AP) foi determinada a partir da densidade de plantas na área experimental.

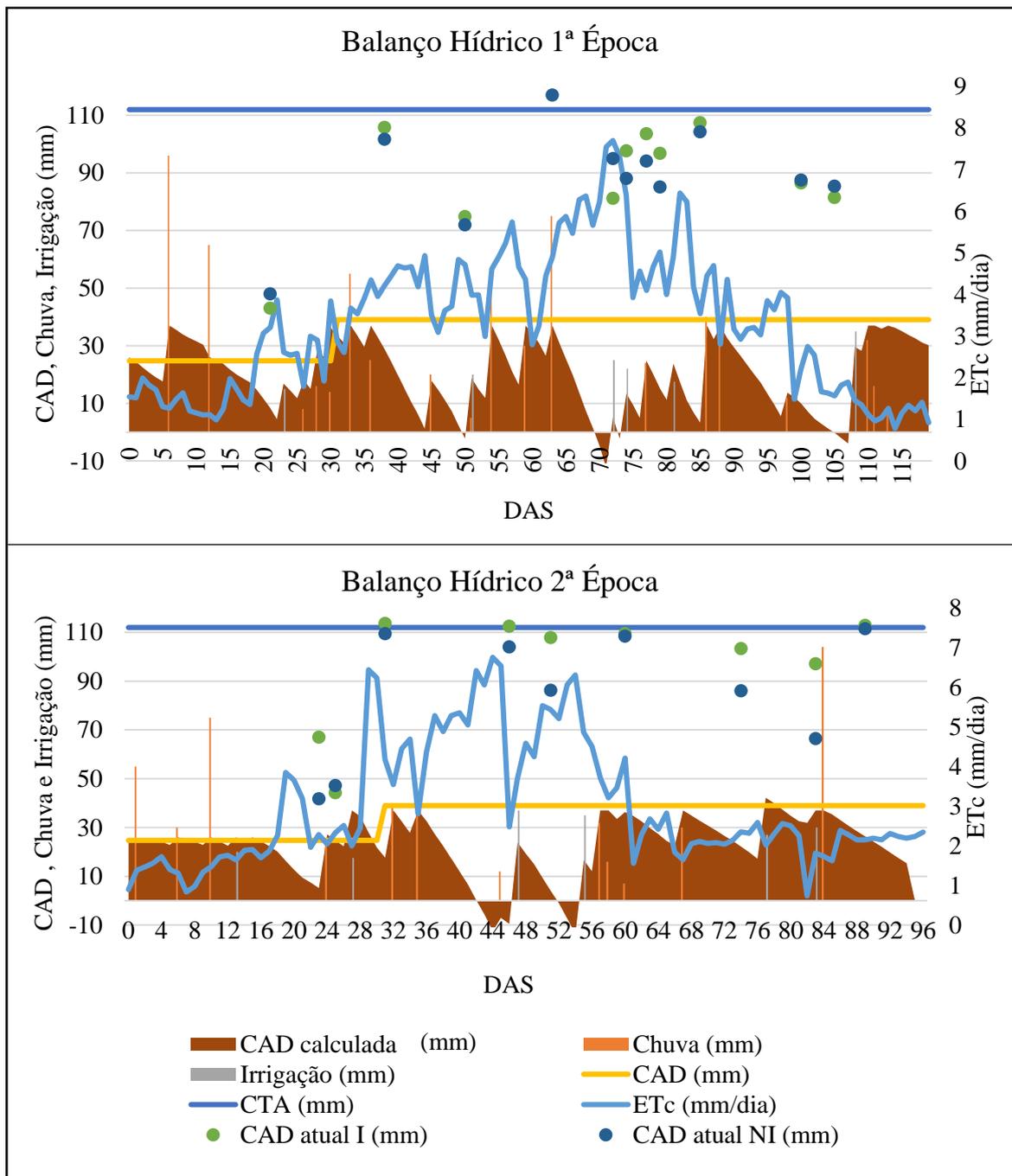
Por apresentarem ciclos de desenvolvimento diferentes, cada cultivar atingiu o estágio de maturidade fisiológica (R8) em uma data distinta. Portanto, a colheita foi realizada de forma manual e individualizada respeitando o estágio fenológico das cultivares. Foram colhidas manualmente as plantas presentes em uma área de 3,75m² de cada parcela experimental. Para a análise dos componentes do rendimento: número de vagens planta⁻¹; número de grãos vagem⁻¹; peso de mil grãos (g) utilizou-se oito plantas por parcela. Já, para a análise do rendimento de grãos (kg ha⁻¹) utilizou-se todas as plantas colhidas. O peso de mil grãos e peso total dos grãos parcela⁻¹ foram corrigidos para a umidade de 13%, e o peso total dos grãos parcela⁻¹ foi extrapolado para kg ha⁻¹.

As variáveis repostas obtidas nos experimentos safra e safrinha: duração dos subperíodos e ciclo total de desenvolvimento, altura de plantas, IAF, número de vagens planta⁻¹, número de grãos vagem⁻¹, peso de mil grãos (g) e rendimento de grãos (kg ha⁻¹) foram submetidas a análise da variância (teste F) e ao teste de média (teste de Tukey) por meio do software Sisvar, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 apresenta o balanço hídrico da cultura da soja nos dois regimes hídricos para as duas épocas de semeadura estudadas.

Figura 7 – Balanço hídrico da cultura da soja em regime hídrico irrigado e não irrigado para duas épocas de semeadura (safra-safrinha). Cachoeira do Sul, 2019.



Observa-se a distribuição regular de chuvas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura em ambas as épocas de semeadura e volumes que somaram 655 e 469 mm na safra e safrinha, respectivamente. Estes valores superaram a ETc da cultura acumulada no ciclo de 413,19 e 288,40 mm (Tabela 2). As chuvas foram suficientes para manter o armazenamento de água no solo CAD atual NI (Figura 7 e Tabela 2) em níveis desejados entre a CAD e a CTA, em ambas as épocas de semeadura. Ainda assim, irrigações suplementares foram realizadas em função do manejo de irrigação proposto, com maior volume na fase de maior demanda evapotranspirométrica da cultura (fase intermediária) (Tabela 2), mantendo o armazenamento de água no solo (CAD atual I) superiores ao CAD atual NI e próximos a CTA (Figura 7).

Tabela 2 - Resultados do balanço hídrico nas diferentes etapas de desenvolvimento da cultura em regime hídrico irrigado e não irrigado para as duas épocas de semeadura estudadas. Cachoeira do Sul, 2019.

Fase do ciclo	ETc acumulada (mm)	ETc méd. (mm dia ⁻¹)	Chuva (mm)	CAD atual NI (mm)	Irrigação (mm)	CAD atual I (mm)
1ª Época						
Inicial	55,8	1,9	185,0	43,0	15	48,4
Média	280,2	4,6	403,0	99,7	84,5	103,2
Final	77,9	1,8	67,0	92,3	35	95,1
	Σ 413,9		Σ 655,0	Méd: 78,4	Σ 134,5	Méd: 82,2
2ª Época						
Inicial	55,4	1,9	184,0	44,5	37,5	55,60
Média	155,8	4,2	151,0	100,6	36,0	109,87
Final	77,2	1,7	134,0	87,9	28,5	107,75
	Σ 288,4		Σ 469,0	Méd: 77,7	Σ 102,0	Méd: 91,1

Em que: ETc acumulada: evapotranspiração da cultura acumulada; ETc média: evapotranspiração da cultura média; CAD atual NI: capacidade de água disponível medida no regime hídrico sem irrigação; CAD atual I: capacidade de água disponível medida no regime hídrico irrigado.

Fonte: Autor.

Nesse estudo, o manejo da irrigação realizado a partir da ETc e utilizando a CAD calculada como gatilho para a recomendação da necessidade de irrigação, gerou uma demanda de irrigação suplementar de 134,5 e 102,0 mm para a safra e safrinha, respectivamente (Tabela 2). Se o manejo da irrigação tivesse sido realizado considerando apenas as determinações de umidade do solo por meio dos sensores FDR e posterior cálculo da CAD atual (CAD atual NI) (Figura 6), não haveria recomendação de irrigação suplementar para a cultura da soja em ambas as épocas de semeadura, já que a CAD atual NI permaneceu acima da CAD em todas as avaliações realizadas.

A redução do armazenamento de água no solo a nível inferior (CAD calculada) a CAD verificada no cálculo do balanço hídrico para a recomendação da necessidade irrigação e não evidenciada com a mediação da umidade do solo (Figura 7), pode ter ocorrido em função do cálculo da ETo nesse estudo ter sido realizado com dados da previsão do tempo. De acordo com Oliveira (2015) com essa metodologia existe uma superestimativa da ETo em dias de chuva no estado do RS. Como tiveram vários dias de chuva ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 7) a ETc estimada pode ter sido superestimada, resultando em maior demanda do que de fato ocorreu com a cultura à campo. Todavia, essa é uma análise complexa, pois a absorção de água por uma planta saudável não é limitada apenas pela disponibilidade de água no solo, mas também pelas condições atmosféricas (Allen et al., 1998; Bernardo et al., 2008).

A maior disponibilidade no regime hídrico irrigado impactou positivamente nos componentes do rendimento da cultura na primeira época (Tabelas 3 e 4), porém na segunda época os resultados não indicaram diferença entre os regimes hídricos na maioria das variáveis analisadas (Tabela 3 e 4).

A Tabela 3 apresenta os indicadores estatísticos para as variáveis respostas analisadas nas duas épocas de semeadura e dois regimes hídricos avaliados.

Tabela 3 - Indicadores estatísticos para as variáveis respostas obtidas para as duas épocas de semeadura estudadas. Cachoeira do Sul, 2019.

Variável Resposta	1ª Época					2ª Época				
	CV (%)	DMS	C	RH	CxRH	CV (%)	DMS	C	RH	CxRH
			Pr>Fc					Pr>Fc		
nº de dias no per. Vegetativo	2,05	1,34	0,00	0,13	0,71	5,15	2,54	0,00	0,48	0,35
nº de dias no per. Reprodutivo	1,55	1,34	0,00	0,13	0,83	3,76	3,24	0,00	0,58	0,28
nº de dias do ciclo	1,55	1,34	0,00	0,13	0,74	2,00	2,71	0,00	1,00	0,28
IAF	27,73	2,27	0,95	0,04	0,16	23,52	0,99	0,08	0,25	0,15
Altura de plantas	17,15	14,27	0,05	0,76	0,82	17,92	5,18	0,00	0,15	0,91
nº de vagem planta ⁻¹	10,55	7,14	0,00	0,14	0,65	9,91	6,95	0,00	0,10	0,34
nº de grãos vagem ⁻¹	2,98	0,09	0,00	0,01	0,09	4,33	0,12	0,00	0,62	0,14
PMG (g)	4,03	9,04	0,00	0,01	0,21	5,44	8,51	0,02	0,36	0,36
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	6,48	364,48	0,00	0,00	0,83	10,54	234,28	0,00	0,44	0,78

Resultados obtidos pelo Teste F em nível de 5% de probabilidade de erro. Em que: C: cultivar; RH: Regime Hídrico; CxRH: Cultivar x Regime Hídrico.

Fonte: Autor.

Estão apresentados na Tabela 4, os resultados obtidos para as variáveis respostas analisadas nas duas épocas de semeadura em função dos regimes hídricos: irrigado e não irrigado.

Tabela 4 - Resultado das diferentes variáveis indicativas do desempenho agrônômico da cultura da soja para os regimes hídricos irrigado e não irrigado, para as duas épocas de semeadura. Cachoeira do Sul, 2019.

Variável Resposta	1ª Época		2ª Época	
	Tratamentos (Regime Hídrico)		Tratamentos (Regime Hídrico)	
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
nº de dias no per. Vegetativo	50,0 a	50,7 a	38,3 a	37,8 a
nº de dias no per. Reprodutivo	67,0 a	66,3 a	66,3 a	66,8 a
nº de dias do ciclo	117,0 a	117,0 a	104,6 a	104,6 a
IAF	7,0 a	5,7 b	3,4 a	3,1 a
Altura de plantas	63,4 a	64,7 a	21,0 a	23,5 a
nº de vagem planta ⁻¹	53,8 a	50,4 a	52,0 a	50,8 a
nº de grãos vagem ⁻¹	2,4 a	2,3 b	2,1 a	2,1 a
PMG (g)	177,5 a	168,3 b	121,6 a	119,1 a
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	4493,0 a	4158,2 b	1740,5 a	1681,4 a

Médias seguidas da mesma letra, na linha e mesma época, não apresentaram diferença estatística no teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor.

Observa-se que o fator regime hídrico gerou diferenças estatísticas para as variáveis respostas IAF, número de grãos vagem⁻¹, peso de mil grãos e rendimento de grãos na safra (primeira época) (Tabela 4). Justifica-se este resultado porque no período crítico da soja em relação ao déficit hídrico (floração e enchimento de grãos), foram realizadas irrigações que somaram 84,5 mm (Figura 7), pois de acordo com Bussler (2017), neste período é importante que não ocorra nenhum déficit hídrico, uma vez que esta é a fase onde serão definidos os componentes de produtividade, tais como a massa de grãos e o número de vagens.

O IAF obtido para a primeira época de semeadura no regime hídrico irrigado, é um indicador de alto rendimento da cultura, pois de acordo com Zanon et al. (2018a), para atingir altas produtividades é necessário um IAF maior que 6,3. O IAF pode ser utilizado para representar a eficiência fotossintética, para análise do crescimento e, também, como fator condicionante da produtividade, pois através do IAF, é definida a capacidade do dossel em interceptar a radiação solar, converter em matéria seca através da fotossíntese, e determinar o potencial produtivo da cultura (HEIFFIG et al., 2006; SETIYONO et al., 2008; ZANON et

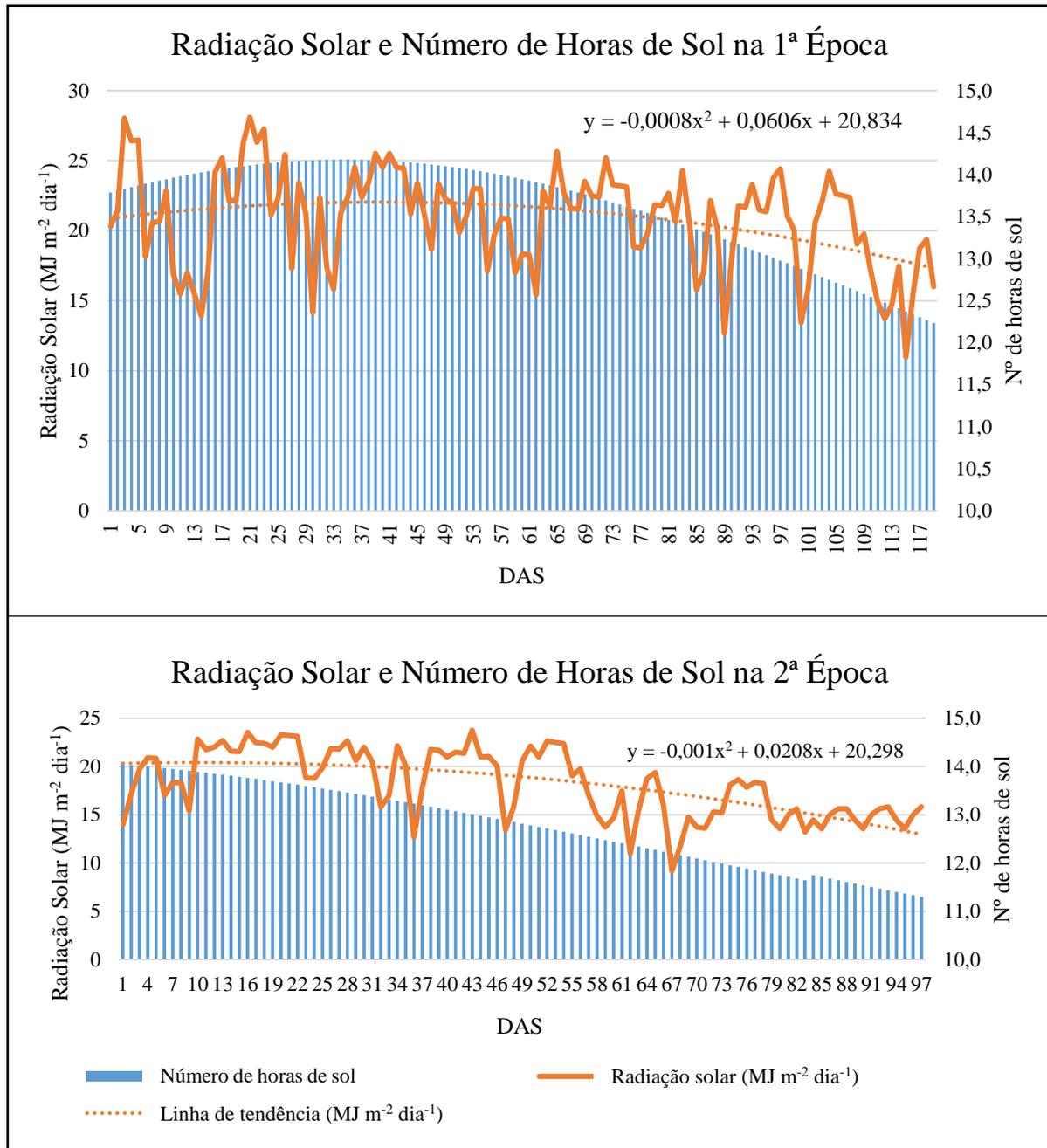
al., 2015; TAGLIAPIETRA et al., 2018). Desta forma, na primeira época de semeadura, a irrigação suplementar resultou em um aumento de aproximadamente 5,2% no peso de mil grãos e 7,5% no rendimento de grãos (Tabela 4).

Na safrinha, a irrigação suplementar não proporcionou benefícios aos componentes do rendimento e no rendimento de grãos da soja (Tabela 4) como observado para a primeira época de semeadura. Semelhanças ocorreram no estudo de Kuss et al. (2008), no qual não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos irrigado e não irrigado em uma análise de semeadura tardia. O que pode ter limitado as altas produtividades na semeadura mais tardia é a queda na radiação solar (R_s) e o encurtamento do ciclo (Tabela 4) em função do fotoperíodo (Figura 8). A R_s média para o ciclo foi de 20,86 e de 18,16 MJ m⁻²dia⁻¹ para safra e safrinha, respectivamente. No período de floração, dos 46 aos 56 DAS na safra e dos 32 aos 43 DAS na safrinha a R_s média foi de 21,45 e 19,71 MJ m⁻²dia⁻¹, conforme mostra a Figura 8.

A disponibilidade de radiação solar para a cultura da soja, está relacionada com a fotossíntese, alongação da haste principal e ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e grãos e fixação biológica (CÂMARA, 2000). Sendo assim, Zanon et al. (2018a) indicam que utilizando a época de semeadura como prática de manejo, é possível ajustar o período crítico da cultura (reprodutivo) ao período de maior radiação solar disponível e, assim, aumentar o potencial de produtividade.

Por ser uma planta de dias curtos, a soja floresce em fotoperíodos menores que um máximo crítico. A diferença de resposta à luz pela planta de soja está relacionada ao fotoperíodo crítico inerente a cada cultivar, ou seja, o número de horas de luz menor ou máximo capaz de induzir uma planta ao florescimento, desde que esta seja apta a perceber a variação do comprimento do dia. O fotoperíodo crítico varia de 17 a +24 horas, enquanto o fotoperíodo ótimo está compreendido entre 6 e 13 horas, dependendo do GMR da cultivar (ZANON et al., 2018a). Na safra, as cultivares entraram em floração o número de horas de sol igual ou inferior a 14 h d⁻¹ (46 aos 56 DAS). Na safrinha, quando as cultivares cumpriram o período juvenil já havia estímulo fotoperiódico (>14 h de sol dia⁻¹) favorável para indução floral que ocorreu a partir dos 32 DAS. A indução floral provoca a transformação dos meristemas vegetativos em reprodutivos (primórdios florais), determinando o tamanho final das plantas (número de nós) e, portanto, seu potencial de rendimento (SEDIYAMA et al., 2015). De acordo com Barros; Sedyama (2009), fotoperíodo é o fator mais importante para se determinar a proporção relativa entre os estádios vegetativos e reprodutivos da planta de soja, uma vez que influencia diretamente a indução floral, e, conseqüentemente, o crescimento, maturação, altura de planta, peso de sementes, número de ramificação e outras características agrônômicas.

Figura 8 – Radiação solar e número de horas de sol ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja nas duas épocas de semeadura analisadas. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

Assim, o número de horas de luz a valores inferiores ao fotoperíodo crítico da cultura que ocorre desde a semeadura na safrinha e a menor disponibilidade de Rs (Figura 8), explica a redução do período vegetativo em 13 dias, a redução no IAF em 52%, a redução da altura de plantas em 41 cm, que impactam diretamente no peso de mil grãos e rendimento de grãos. Com

isso, a semeadura na safrinha resultou em uma redução na produtividade da soja de aproximadamente 2.615 kg ha⁻¹, independente do regime hídrico adotado (Tabela 4).

Analisando as cultivares (Tabela 5), observa-se diferenças no número de dias no período vegetativo, número de dias no período reprodutivo e número de dias do ciclo (Tabela 5), atribuídas ao GMR que são diferentes entre as cultivares. Cultivares mais precoces (NS 4823 e NA 5909) possuem período juvenil mais curto, fazendo com que entrem em período reprodutivo mais rápido que cultivares de ciclo mais longo (NS 6909). Isso aconteceu para a cultivar NS 4823, mas não se confirmou para a cultivar NA 5909 que apresentou período vegetativo similar a cultivar NS 6909. Além disso, essas cultivares (NA 5909 e NS 6909) apresentaram padrão de duração de subperíodos vegetativos e reprodutivos diferentes para as duas épocas de semeadura, indicando a necessidade de mais estudos sobre adaptação, estabilidade e duração do ciclo de desenvolvimento dessas cultivares na região. Independente da cultivar utilizada, observa-se que a semeadura mais tardia resultou em um encurtamento de 15 dias (média) no ciclo de desenvolvimento, em função da redução do período vegetativo atribuído ao fotoperíodo (Figura 8).

Tabela 5 - Resultado das diferentes variáveis indicativas do desempenho agrônomo da cultura da soja para as diferentes cultivares, para as duas épocas de semeadura estudadas. Cachoeira do Sul, 2019.

Variável Resposta	1ª Época			2ª Época		
	Tratamentos (Cultivares)			Tratamentos (Cultivares)		
	NS 6909	NA 5909	NS 4823	NS 6909	NA 5909	NS 4823
nº de dias no per. Vegetativo	52,5 a	54,5 b	44 c	40,3 a	40,9 a	33 b
nº de dias no per. Reprodutivo	66,5 a	64,5 b	69 c	64,6 a	70,1 b	64,9 a
nº de dias do ciclo	119 a	119 a	113 b	104,9 a	111 c	97,9 b
IAF	6,2 a	6,3 a	6,4 a	3,2 a	2,8 a	3,7 a
Altura de plantas	56,9 a	71,4 b	63,8 ab	17,5 b	25,6 a	23,6 a
nº de vagem planta ⁻¹	42,7 a	59,9 b	53,7 b	53,3 a	48,1 b	51,7 b
nº de grãos vagem ⁻¹	2,5 a	2,2 b	2,3 c	2,2 a	2,0 b	2,2 a
PMG (g)	185 a	160,2 b	173,5 c	116,2 a	118,9 ab	126,1 b
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	3658,2 a	4465,4 b	4852,7 b	1812,6 a	1399,32 b	1919,6 a

Médias seguidas da mesma letra não apresentaram diferença estatística no teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor.

Rodrigues (2006), analisou que a utilização de cultivares de grupo de maturidade inadequado para determinada região pode reduzir o tempo para florescimento, o que reflete negativamente no desenvolvimento da área foliar e, conseqüentemente, na otimização dos fatores primários de produção orgânica (radiação solar, fotossíntese). Isso não foi observado

entre as cultivares estudadas, que obtiveram IAF muito parecidos comparadas para uma mesma época de semeadura (Tabela 5) de 6,3 e 3,2 para safra e safrinha, respectivamente, indicando adaptação das cultivares a região. Os valores de IAF máximos (médio 3,2) observados na segunda época de semeadura estão abaixo do considerado crítico para que a planta consiga interceptar 95% da radiação solar, que está em torno de 3,9 (SHOFFEL e VOLPE, 2001; PEREIRA, 2002). Segundo Mundstock e Thomas (2005), semeaduras muito tardias em que a planta floresce com pouco mais de 30 dias resultam em baixos rendimentos de grãos, corroborando com os resultados observados nesse estudo (Tabela 5).

Quanto à altura de plantas, a cultivar NA 5909 se sobressaiu por apresentar maior valor comparado as demais cultivares em ambas épocas de semeadura (71,4 cm na safra e 25,6 cm na safrinha). Porém, estes resultados não impactaram no PMG e rendimento de grãos (Tabela 5). A cultivar NS 4823 apresentou resultados intermediários (73,8 cm na safra e 23,6 cm na safrinha) e a cultivar NS 6909 obteve as menores alturas de plantas (56,9 cm na safra e 17,5 cm na safrinha). Segundo Rocha et al. (2012), as variações na altura das plantas podem ser influenciadas por época de semeadura, espaçamento entre e dentro das fileiras, suprimento de umidade, temperatura, fertilidade do solo, resposta periódica da cultivar e outras condições do ambiente.

Em relação aos componentes do rendimento (Tabela 5), na safra, a cultivar NA 5909 apresentou o maior número de vagem planta⁻¹ (59,9), enquanto a cultivar NS 6909 apresentou maior número de grãos vagem⁻¹ (2,5) e PMG (185g), diferindo estatisticamente das demais cultivares. Na safrinha, a cultivar NS 6909 apresentou o maior número de vagem planta⁻¹ (53,3), mas obteve baixo PMG de 116,2 g comparado as cultivares NA 5909 e NS 4823 que apresentaram 118,9 g e 126,2 g, respectivamente. Quanto ao número de grãos vagem⁻¹, apesar de os resultados apresentarem diferenças estatística entre as cultivares na safra e safrinha (Tabela 5), os valores obtidos foram semelhantes (entre 2,0 e 2,5), corroborando com Mundstock e Thomas (2005) que observaram que o número de grãos vagem⁻¹, dentre os demais componentes diretos, é o que apresenta menor variação entre diferentes situações de cultivo.

Em ambos os experimentos (safra e safrinha), as cultivares NA 5909 e NS 6909 obtiveram destaque em algum componente de rendimento (número de grãos vagem⁻¹ e PMG), já a cultivar NS 4823 apresentou valores intermediários em todos os componentes do rendimento em comparação as demais. Essa estabilidade da cultivar em relação a ter um bom desempenho em todos dos componentes do rendimento e manter esse padrão (mesmo que com redução no valores) em uma semeadura mais tardia, resultou em rendimento de grãos de 4852,7

e 1919,6 kg ha⁻¹ na safra e safrinha, respectivamente, estatisticamente iguais aos das cultivares da cultivar NA 5909 (safra) e da cultivar (NS 6909) safrinha.

Neste estudo, ficou evidente que a semeadura na época preferencial para o município (safra) resultou em melhores indicadores agronômicos para a cultura da soja, independente do regime hídrico utilizado (irrigado e não irrigado) (Tabela 4) e da cultivar escolhida (Tabela 5). Em valores médios, a produtividade obtida na safra foi de 72 sacas ha⁻¹, enquanto que na segunda época de semeadura, houve uma redução de 61%, produzindo 28 sacas ha⁻¹. Segundo Peixoto et al. (2000), a adoção de épocas de semeadura que propiciem condições climáticas próximas às exigidas pelas plantas é de extrema importância para um bom desempenho produtivo nas lavouras. Haja vista que, semeaduras na época de safrinha podem causar perdas de até 70% em relação à época recomendada (RODRIGUES et al., 2001; BRACCINI et al., 2004; RODRIGUES et al., 2008; STÜLP et al., 2009). Portanto, conforme indicam Barni e Bergamaschi (1981); Nakagawa et al. (1983); Rocha et al. (1996) e Peixoto et al. (2000), a época de semeadura é a prática cultural isolada que mais influencia no desenvolvimento e produtividade dos grãos de soja.

4 CONCLUSÕES

Observou-se que para a o ano agrícola 2018/19 em Cachoeira do Sul, houve uma distribuição regular de chuvas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja e volumes que somaram 655 mm (safra) e 469 mm (safrinha) que superaram a evapotranspiração da cultura acumulada no ciclo de 413,19 (safra) e 288,40 mm (safrinha).

A irrigação suplementar de 134,5 mm utilizada ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja na primeira época de semeadura (safra), incrementou em aproximadamente 18% o índice de área foliar das plantas, em 5,2% o peso de mil grãos e conseqüentemente 7,5% o rendimento.

A irrigação suplementar de 102,0 mm utilizada ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja na segunda época de semeadura (safrinha) não trouxe benefícios aos componentes do rendimento e no rendimento de grãos da soja como observado para a primeira época de semeadura.

A cultivar NS 4823 apresentou uma duração dos subperíodos (vegetativo e reprodutivo) e do ciclo compatível com o esperado para o seu grupo de maturidade relativa, enquanto as cultivares NA 5909 e NS 6909 apresentaram variações inesperadas e que devem ser melhor estudadas. A semeadura mais tardia (safrinha) resultou em um encurtamento em média de 15 dias no ciclo de desenvolvimento das três cultivares.

Em ambos os experimentos (safra e safrinha), a cultivar NS 4823 apresentou valores intermediários em todos os componentes do rendimento em comparação as cultivares NA 5909 e NS 6909, que resultou em maiores rendimentos de grãos de 4852,7 kg ha⁻¹ (safra) e 1919,6 kg ha⁻¹ (safrinha).

A semeadura na época preferencial (safra) para o município de Cachoeira do Sul resultou em melhores indicadores agronômicos para a cultura da soja, independente do regime hídrico utilizado (irrigado e não irrigado) e da cultivar escolhida (NA 5909, NS 6909 e NS 4823).

5 REFERÊNCIAS

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.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, No.6, 711-728p, 2013.

BARNI, N. A.; BERGAMASCHI, H. Técnicas culturais: alguns princípios técnicos para semeadura. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. ITAL, p. 476-480, 1981.

BARROS, H. B.; SEDIYAMA, Y. **Luz, umidade e temperatura**. In: Sedyama, T. (Ed). Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina, PR: Macenas, 2009. p.17-27.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8º ed. Viçosa – MG. 2008. Editora UFV. ISBN: 8572692428. 625 p.

BONATO, E. R. et al. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidas após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 2391-2398, 2000.

BRACCINI, A. L. et al. Características agronômicas e rendimento de sementes de soja na semeadura realizada no período da safrinha. **Bragantia**, v.63, p. 81-92, 2004.

BUSSLER, A.P.K. **Avaliação de genótipos de soja (*Glycine max*) em duas épocas de semeadura**. 2017. 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, RS.2017.

CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba, SP, 2000. 450 p.

CASTRO, A.P.; VIANA, J. G. A. Evolução da Produção de Soja no Rio Grande do Sul: Um Comparativo entre Mesorregiões do Estado. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. v.5, n.2, 2013.

CUNHA, G. R. et al. Zoneamento Agrícola e Época de Semeadura para Soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.446-459, 2001.

EMPRESA DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSAO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL. 2018a. **Emater divulga dados oficiais da colheita de soja no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/emater-divulga-dados-oficiais-da-colheita-de-soja-no-rio-grande-do-sul> Acesso em: 12 dez. 2018.

EMPRESA DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSAO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL – EMATER/RS. 2018b. **Infográfico: Confira as diferenças no rendimento na soja em 60 municípios do RS**. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e->

lavoura/noticia/2018/04/infografico-confira-as-diferencas-na-produtividade-da-soja-em-municipios-do-rs-cjfy09egk025k01tg8tsvl30y.html Acesso em: 25 de abril de 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Ecofisiologia da soja**. Circular Técnica, Paraná, 2007. ISSN 1516-7860. 9p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em: 25 de abril de 2018.

FARIAS, J. R. B. et al. Caracterização de Risco de Déficit Hídrico nas Regiões Produtoras de Soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.415-421, 2001.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, Botucatu, v.8, n.2, p.132-141, mai-ago, 2003. ISSN 1413-7895.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2017. **Database-agricultural production** (FAO). Disponível em: <http://faostat.fao.org/> Acesso em: 10 de abril de 2019.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v.65, p.285-295, 2006.

KUSS, R.C.R. et al. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. 2018. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1133-1137, 2008.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.33, n.6, p.1013-1019, 2003.

MAZZALI, M. V.; et al. Análise do desenvolvimento de diferentes cultivares de soja para fins de simulação da necessidade de irrigação suplementar. In: **Siepex** - Cachoeira do Sul, 2018. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/8-siepex/trabalho/64189>>. Acesso em: 20 março 2019.

MOTA, F.S. da. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F. de J. (Coord.) **Soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 463p.

MOTA, F.S. et al. Análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n.1, p.133-138, 1996.

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

NASCIMENTO, V. M T. et al. Aspectos agronômicos para a escolha de cultivares de soja: impactos sobre os componentes de produtividade e morfologia de plantas. Anais de congresso. 2018. In: **VIII Congresso Brasileiro de Soja**, Goiânia, GO - 2018: inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais / Adilson de Oliveira Junior, Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite, Alexandre José Cattelan, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. ISBN 978-85-7035-808-0.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Épocas de semeadura de soja: I. Efeitos na produção de grãos e nos componentes da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, p. 1187-1198, 1983.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. et al. **Estresses de ordem ecofisiológica**. In: BONATO, E. R. ed. Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000.

OLIVEIRA, Z. B. **Estimativa da evapotranspiração a partir de dados diários de previsão meteorológica**. 2015. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

PEIXOTO, C. P. et al. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componente da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, v. 57, p. 89-96, 2000.

PEIXOTO, C. P. et al. Matéria seca, área foliar e rendimento de grãos em cultivares de soja sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 31, 2002, Salvador. Anais. Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. p.1-4.

PEREIRA, C.R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. 2002. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2002.

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.

ROCHA, V. S. et al. **A qualidade da semente de soja**. Viçosa, MG: DFT/UFV, 1996. 76 p. (Boletim,188).

ROCHA, R. S. et al. Desempenho agronômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina – PI. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.154-162, 2012.

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

RODRIGUES, O. et al. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura do ar no desenvolvimento da área foliar em soja** (*Glycine max* (L.) Merrill). [S.l.]: Embrapa, 2006. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).

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

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. 969 p.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do Plantio à Colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 333 p.

SENTELHAS, P.C. et al. 2015. The soybean yield gap in Brazil: Magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Scientia Agrícola**. 153:1394–1411. doi:10.1017/S0021859615000313

SETIYONO, T. D. et al. Leaf área index simulation in soybean grown under near-optimal conditions. **Field Crops Research**, v.108, p.82-92, 2008.

SILVA, C. M. et al. Análise dos Componentes do Rendimento de Diferentes Cultivares de Soja em Cachoeira do Sul. *Ciência e Natura*, Santa Maria. v.40, Edição Especial: II Mostra de Projetos da UFSM – Campus Cachoeira do Sul, 2018, p 84-93. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas** – UFSM. ISSN Impressa: 0100-8307. ISSN on-line: 2179-460X.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, n.2, v.9, p.241-249, 2001.

STRECK, N.A.; PAULA, G.M.; CAMERA, C.; MENEZES, N.L.; LAGO, I. Estimativa do plastocrono em cultivares de soja. **Bragantia**, v.67, p.67-73, 2008.

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

TAGLIAPIETRA, E. L. et al. Optimum leaf área index to reach soybean yeld potential in subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.110, p.932-938, 2018.

VERNETTI, F.J.; VERNETTI JUNIOR, F.J. Genética da soja: caracteres qualitativos e diversidade genética. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2009. 221p.

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

ZANON, A. J.; STRECK, N.A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v. 108, p.1447-1454, 2016.

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

ZANON, A. J. et al. Quantidade e distribuição de água para alcançar o potencial de produtividade da soja em ambiente subtropical. 2018b Congresso Brasileiro de Soja (8. : 2018: *Goiânia, GO*). **VIII Congresso Brasileiro de Soja**, Goiânia, GO - 2018: inovação,

tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais / Adilson de Oliveira Junior, Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite, Alexandre José Cattelan, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. ISBN 978-85-7035-808-0.