

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MITIGAÇÃO DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM SOJA CULTIVADA EM  
GLEISSOLO COM USO DE POLÍMERO HIDRORETENTOR

Darci Francisco Uhry Junior  
Engenheiro Agrônomo/UFSM  
Mestre em Fitotecnia/UFRGS

Tese apresentada com um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia  
Área de Concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil  
Outubro de 2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Uhry Junior, Darci Francisco  
MITIGAÇÃO DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM SOJA CULTIVADA  
EM GLEISSOLO COM USO DE POLÍMERO HIDRORETENTOR / Darci  
Francisco Uhry Junior. -- 2023.  
113 f.  
Orientador: Christian Bredemeier.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,  
2023.

1. Glycine max (L.) Merrill. 2. rotação de  
culturas. 3. terras baixas. 4. deficiência hídrica. I.  
Bredemeier, Christian, orient. II. Título.

Darci Francisco Uhry Junior  
Engenheiro Agrônomo - UFSM  
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

## **TESE**

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **DOUTOR (A) EM FITOTECNIA**

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 19.10.2023  
Pela Banca Examinadora

CHRISTIAN BREDEMEIER  
Orientador - PPG em Fitotecnia  
UFRGS

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE  
Coordenadora do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

ANDRÉ LUIS VIAN  
PPGFITO/UFRGS

FILIPE SELAU CARLOS  
PPGMACSA/UFPEL

CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA  
IRGA

*“Tenho a impressão de ter sido uma  
criança brincando à beira-mar, divertindo-me em  
descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha  
mais bonita que as outras, enquanto o imenso  
oceano da verdade continua misterioso diante de  
meus olhos”.*

**Isaac Newton**

À minha esposa Alexsandra e às minhas filhas, Carolina e Gabriela.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente à minha esposa Alexsandra e às minhas filhas, Carolina e Gabriela, por toda a ajuda, incentivo, carinho, apoio, paciência e compreensão em todos os momentos.

Ao meu orientador, professor Christian Bredemeier, pela orientação, ajuda e pelos inúmeros ensinamentos durante o decorrer do doutorado.

Ao professor aposentado e consultor técnico do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Paulo Regis Ferreira da Silva, pelo incentivo, apoio e por todos os ensinamentos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), à Faculdade de Agronomia e ao IRGA, por terem possibilitado a realização deste curso de pós-graduação.

A todos os pesquisadores, consultores, técnicos, colaboradores, estagiários e bolsistas do IRGA e da UFRGS, que contribuíram para a realização do experimento, das avaliações e da elaboração desta tese.

Aos professores André Luis Vian, Filipe Selau Carlos e Paulo Regis Ferreira da Silva, pela participação na banca examinadora deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pelos tantos ensinamentos.

Aos amigos, colegas de pós-graduação e do IRGA, em especial a Carlos Henrique Paim Mariot, Charleston dos Santos Lima, Daniel Arthur Waldow, Danielle Almeida, Débora Favero, Flávia Miyuki Tomita, Francisco Alexandre de Moraes, Gabriela de Magalhães da Fonseca e Pablo Gerzson Badinelli, pelo auxílio na elaboração desta tese.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização de mais essa etapa da minha formação profissional.

# MITIGAÇÃO DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM SOJA CULTIVADA EM GLEISSOLO COM USO DE POLÍMERO HIDRORETENTOR<sup>1</sup>

Autor: Darci Francisco Uhry Junior  
Orientador: Christian Bredemeier

## RESUMO

Os solos de terras baixas possuem limitações físicas, que dificultam a infiltração de água e que, associadas aos cada vez mais frequentes períodos de deficiência hídrica, impulsionam a busca por alternativas para aumentar o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, a produtividade de grãos de soja nestes ambientes. Neste contexto, o uso de polímeros hidroretentores surge como opção para mitigar os efeitos da deficiência hídrica em soja. Assim, este trabalho objetivou avaliar o efeito da utilização de polímero hidroretentor no sulco de semeadura nos atributos físicos do solo e seus impactos no estabelecimento, na nodulação, no crescimento e desenvolvimento das plantas e na produtividade de grãos de soja em um Gleissolo, em terras baixas, para mitigar os efeitos da deficiência hídrica. Dois experimentos foram conduzidos sob condições de casa de vegetação e dois sob condições de campo, durante os anos agrícolas de 2020/21 e 2021/22, no município de Cachoeirinha, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Em casa de vegetação, avaliou-se as doses de 0, 10, 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor aplicado no sulco de semeadura da soja sob diferentes regimes de irrigação. Nos dois experimentos realizados a campo, avaliou-se as doses de 0, 10, 20, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de polímero. No primeiro ano, utilizou-se a cultivar BS IRGA 1642 IPRO, sem irrigação, e, no segundo ano, a cultivar DM 66i68 RSF IPRO, com irrigação complementar. A aplicação do polímero aumenta a emergência, a nodulação, o crescimento e o desenvolvimento da planta de soja em condições controladas. No entanto, os maiores benefícios foram observados quando os intervalos entre as irrigações foram menores. Na condição de campo, sua aplicação melhora alguns atributos do solo relacionados à retenção de água. No entanto, somente com maiores acumulados de chuva durante o ciclo da soja, com irrigações suplementares e com a cultivar DM 66i68 RSF IPRO, há aumento na produtividade de grãos com sua aplicação. Portanto, o uso de polímero hidroretentor no sulco da semeadura não é uma alternativa eficiente para mitigar os efeitos da deficiência hídrica em soja cultivada em Gleissolo, em terras baixas.

---

<sup>1</sup>Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (113f.) Outubro, 2023.



# WATER DEFICIENCY MITIGATION ON SOYBEAN GROWN IN GLEISSOL WITH WATER RETENTION POLYMER USE<sup>1</sup>

Author: Darci Francisco Uhry Junior  
Adviser: Christian Bredemeier

## ABSTRACT

Lowland soils have physical limitations, which difficult water infiltration and, in association with increasingly frequent periods of water deficiency, leads to the search for alternatives in order to increase soil water storage and soybean grain productivity in these environments. In this context, the use of water-retaining polymers appears as an alternative to mitigate the effects of water deficiency on this crop. Thus, this work aimed to evaluate the effect of using a water-retaining polymer in the sowing furrow on soil physical attributes and its impacts on the establishment, nodulation, plant growth e development and on soybeans grain productivity in a Gleissol, at lowland area. Two experiments were carried out under greenhouse conditions and two under field conditions, during the growing seasons of 2020/21 and 2021/22, at Cachoeirinha, state of Rio Grande do Sul, Brazil. In greenhouse experiments, it were tested the doses of 0, 10, 20 and 40 kg ha<sup>-1</sup> of water-retaining polymer applied to the soybean sowing furrow under different irrigation regimes. In the field experiments, the doses of 0, 10, 20, 40 and 80 kg ha<sup>-1</sup> of water-retaining polymer applied to the sowing furrow were tested. The water-retaining polymer increase emergency, nodulation and growth and development of soybean plant under controlled conditions. However, the higher benefits were observed when the intervals between irrigations were shorter. Under field conditions, polymer application improves soil attributes related to water retention. However, only when there is a high rainfall accumulation during the cycle of soybean plant and with supplementary irrigation, its use results in an increase in grain productivity. Therefore, the use of water-retaining polymer in the sowing furrow it is not an efficient alternative to mitigate the effects of water deficiency on soybeans grown in a Gleissol, in lowlands.

---

<sup>1</sup> Doctoral Thesis in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (113p.) October, 2023.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Hipóteses .....	3
1.2 Objetivo geral .....	4
1.3 Objetivos específicos .....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 Aspectos gerais e importância econômica da cultura da soja no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul (RS) .....	5
2.2 Efeitos da deficiência hídrica na soja deficiência hídrica na cultura da soja .....	6
2.3 O cultivo da soja em terras baixas no estado do RS .....	8
2.4 Uso de polímeros hidroretentores para mitigar os efeitos de deficiência hídrica .....	11
2.5 Efeito de polímeros hidroretentores nos atributos físico-químicos do solo .....	14
2.6 Suscetibilidade do subperíodo semeadura-emergência à deficiência hídrica .....	16
2.7 Resposta da produtividade de soja à aplicação de polímeros hidroretentores .....	17
2.8 Referências .....	19
3 ARTIGO 1 .....	25
3.1 Introdução .....	26
3.2 Material e métodos .....	29
3.3 Resultados .....	36
3.3.1 Experimento 1 .....	36
3.3.1.1 Estabelecimento da cultura .....	36

	Página
3.3.1.2 Nodulação da planta.....	37
3.3.1.3 Crescimento e desenvolvimento da planta.....	38
3.3.2 Experimento 2 .....	40
3.3.2.1 Estabelecimento da cultura .....	40
3.3.2.2 Nodulação da planta.....	42
3.3.2.3 Crescimento e desenvolvimento da planta.....	43
3.4 Discussão .....	47
3.5 Conclusões .....	57
3.6 Referências.....	58
4 ARTIGO 2.....	63
4.1 Introdução.....	64
4.2 Material e métodos .....	66
4.2.1 Avaliações dos atributos físicos do solo.....	69
4.2.2 Avaliações relativas ao crescimento e ao desenvolvimento da planta e à produtividade de grãos de soja.....	70
4.3 Resultados.....	74
4.3.1 Atributos físicos do solo.....	75
4.3.2 Características relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de soja.....	76
4.3.2.1 Experimento 1 (ano agrícola 2020/21) .....	76
4.3.2.2 Experimento 2 (ano agrícola 2021/22) .....	79
4.4 Discussão .....	83
4.4.1 Atributos físicos do solo.....	83
4.4.2 Nodulação, crescimento e desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de soja.....	86
4.5 Conclusões .....	90
4.6 Referências.....	91
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	96

## RELAÇÃO DE TABELAS

Página

### ARTIGO 1

1. Atributos físicos e químicos do solo do Gleissolo utilizado nos dois experimentos, Cachoeirinha-RS.....29
2. Peso seco da parte aérea por planta (PSPA) no estágio V3-V4<sup>1</sup> e V3-V5, número de nódulos por planta (NODP), peso seco de raízes por planta (PSR), diâmetro caulinar (DC), número de nós por planta (NP), razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA), conteúdo relativo de água na folha (CRAF), teor relativo de clorofila na folha (TRCF) e diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) no estágio V3-V5, sob dois manejos de irrigação, na média de três doses de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja, avaliados no Experimento 1. Cachoeirinha, RS, 2021.. .....37
3. Porcentagem de emergência (%E) e índice de velocidade de emergência (IVE) até o estágio VC<sup>1</sup>, estatura de planta (EST), peso seco da parte aérea por planta (PSPA), conteúdo relativo de água na folha (CRAF) e teor relativo de clorofila na folha (TRCF), no estágio V4-V6, número de nódulos por planta (NODP), peso seco de nódulos por planta (PSNP), peso seco por nódulo (PSPN), CRAF, TRCF, diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ), EST, peso seco de raízes por planta (PSR), e razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA), no estágio R1-R2, em três intervalos de irrigações, na média de doses de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja, avaliados no Experimento 2. Cachoeirinha-RS, 2022.....41

### ARTIGO 2

1. Atributos físicos e químicos do solo da área experimental nos dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....69

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

### ARTIGO 1

1. Porcentagem de emergência (A) e índice de velocidade de emergência (B) até o estágio VC<sup>1</sup>, número de nódulos por planta (C), no estágio V3-V5, em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura, na média de dois manejos de irrigação e peso seco de nódulos por planta (D), peso seco por nódulo (E) e estatura de planta de soja (F), no estágio V3-V5, em função de doses de polímero hidroretentor e dois manejos de irrigação após o estágio V2: 2D (irrigação a cada dois dias) e DHP (deficiência hídrica progressiva), avaliados no Experimento 1. Cachoeirinha – RS, 2021 .....36
2. Peso seco da parte aérea por planta (PSPA), no estágio V3-V4<sup>1</sup> (A), PSPA no estágio V3-V5 (B) e peso seco de raízes por planta (PSR) (C), diâmetro caulinar (D), número de nós por planta (E) e razão PSR/PSPA (F) no estágio V3-V5 em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura, na média de dois manejos de irrigação após o estágio V2: 2D (irrigação a cada dois dias) e DHP (deficiência hídrica progressiva). EEA-IRGA, Cachoeirinha, RS, 2021 .....39
3. Conteúdo relativo de água na folha (A), teor relativo de clorofila na folha (B) e diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) (C) no estágio V3-V5<sup>1</sup> em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura, na média de dois manejos de irrigação após o estágio V2: 2D (irrigação a cada dois dias) e DHP (deficiência hídrica progressiva). EEA-IRGA, Cachoeirinha, RS, 2021 .....40
4. Porcentagem de emergência (A), índice de velocidade de emergência (B), estatura de planta (C), peso seco da parte aérea por planta (D), conteúdo relativo de água na folha (E) e teor relativo de clorofila na folha (F) no estágio V4-V6<sup>1</sup> em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja, na média de três intervalos de irrigação. Cachoeirinha – RS, 2022.....41

5. Número de nódulos por planta (A), peso seco de nódulos por planta (B), peso seco por nódulo (C), conteúdo relativo de água na folha (D), teor relativo de clorofila na folha (E) e diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) (F), no estágio R1-R2<sup>1</sup>, em função de doses de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja, na média de três intervalos de irrigação. Cachoeirinha – RS, 2022.....43
6. Estatura de planta (A), peso seco de raízes por planta (PSR) (B) e razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA) (C), no estágio R1-R2<sup>1</sup>, em função de doses de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja, na média de três intervalos de irrigação. Diâmetro caulinar (D), número de nós por planta (E) e peso seco da parte aérea por planta (PSPA) (F) da planta de soja, no estágio R1-R2, em função de doses de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja em três intervalos entre as irrigações (2, 4 e 6 dias). Cachoeirinha – RS, 2022 .....44
7. Aspecto visual das unidades experimentais, separadas para as avaliações finais do estudo, com plantas de soja no estágio R1-R2<sup>1</sup>, em função de doses de polímero hidrotentor (0, 10, 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup>) no sulco de semeadura e intervalos de irrigação (2, 4 e 6 dias), no Experimento 2. Cachoeirinha – RS, 2022.....50

## ARTIGO 2

1. Precipitações pluviárias (mm) ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da soja nos anos agrícolas 2020/21 (A), cultivar BS IRGA 1642 IPRO, e 2021/22 (B), cultivar DM 66i68 RSF IPRO, irrigações (mm) realizadas no segundo ano (B) e datas de semeadura, início de florescimento (R1<sup>1</sup>) e da colheita. Cachoeirinha-RS.....74
2. Porosidade total (A), macroporosidade (B) e microporosidade do solo (C), avaliadas no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidrotentor aplicadas no sulco de semeadura da soja. Cachoeirinha-RS.....75
3. Densidade do solo (A), umidade na coleta do solo (B), umidade de saturação do solo (C) e quantidade de água disponível no solo, nas tensões de -6 kPa (D) e -10 kPa (E), avaliados no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidrotentor aplicadas no sulco de semeadura da soja. Cachoeirinha-RS.....76
4. Diâmetro caulinar (A), peso seco da parte aérea por planta (B), teor relativo de clorofila na folha (C), conteúdo relativo de água na folha (D) e estatura de planta de soja (E), avaliados no estágio R1<sup>1</sup>, e estatura de planta no estágio R8 (F), no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidrotentor aplicadas no sulco de semeadura. Cachoeirinha-RS .....77

5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), avaliado nos estádios V7<sup>1</sup> (A), R1 (B), R3 (C), R4 (D), R5.5 (E) e R6 (F) de desenvolvimento da soja, no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura, Cachoeirinha-RS.....78
6. Números de nós por planta (A), de nós férteis por planta (B), de legumes por m<sup>2</sup> (C) e de grãos por legume (D), peso de mil grãos (E) e produtividade de grãos (F) de soja, avaliados no estádio R8<sup>1</sup>, no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura. Cachoeirinha-RS.....79
7. Diâmetro caulinar (A), peso seco da parte aérea por planta (B), teor relativo de clorofila na folha (C) e estatura de planta (D), avaliados no estádio R1<sup>1</sup>, e estatura de planta (E) e altura de inserção do primeiro legume (F), avaliadas no estádio R8, ano agrícola 2021/22, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura da soja, Cachoeirinha-RS.....80
8. Número de nódulos por planta (A), peso seco de nódulos por planta (B) e peso seco por nódulo (C), avaliados no estádio R1<sup>1</sup>, ano agrícola 2021/22, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura da soja. Cachoeirinha-RS.....81
9. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), avaliado nos estádios V7<sup>1</sup> (A), R1 (B), R2 (C), R4 (D), R5.4 (E) e R7 (F) de desenvolvimento da soja, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura, Cachoeirinha-RS, 2021/22.....82
10. Números de nós por planta (A), de nós férteis por planta (B), de legumes por m<sup>2</sup> (C) e de grãos por legume (D), peso de mil grãos (E) e produtividade de grãos de soja (F), avaliados no estádio R8<sup>1</sup>, no ano agrícola 2021/22, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura, Cachoeirinha-RS.....83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

- %E - Porcentagem de emergência
- 2D – Irrigação a cada dois dias.
- 4D – Irrigação a cada quatro dias.
- 6D – Irrigação a cada seis dias.
- CC – Capacidade de campo.
- Cfa – Subtropical úmido.
- CRAF – Conteúdo relativo de água na folha.
- DAS – Dias após a semeadura.
- DC – Diâmetro caulinar.
- DHP – Deficiência hídrica progressiva.
- DS – Densidade do solo.
- EEA-IRGA – Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz.
- Exp. 1 – Experimento 1.
- Exp. 2 – Experimento 2.
- IVE – Índice de velocidade de emergência.
- LM2 – Legumes por metro quadrado.
- MACP – Macroporosidade.
- MICP – Microporosidade.
- NDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada.
- NODP – Número de nódulos por planta.
- NP – Nós por planta.
- PSNP – Peso seco de nódulos por planta.
- PSPA – Peso seco da parte aérea por planta.
- PSPN – Peso seco por nódulo.
- PSR – Peso seco de raízes por planta.



PSR/PSPA – Razão peso seco de raízes/peso seco da parte aérea por planta.

RS – Estado do Rio Grande do Sul.

TRCF – Teor relativo de clorofila na folha.

UC – Umidade na coleta do solo.

$\Delta T$  – Diferença entre as temperaturas da planta e do ar.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] está consolidada como a principal opção para rotação de culturas com o arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) nos solos de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul (RS), onde a sua área de cultivo chegou a 506 mil hectares na safra 2022/23 (Cera, 2023). Esse aumento da área ocorre, principalmente, em função dos benefícios gerados ao arroz, com destaque para o controle mais eficiente de plantas daninhas, e da valorização econômica dos grãos de soja ocorrida nos últimos anos, que tornou seu cultivo um investimento rentável em áreas de terras baixas (Uhry Junior, Badinelli e Marchesan, 2020). No entanto, o sucesso do seu cultivo neste ambiente é muito influenciado pelas condições meteorológicas, cuja interferência pode ser intensificada, devido a algumas peculiaridades destes solos, que podem causar restrições ao crescimento e ao desenvolvimento da planta.

Dentre estas características, destacam-se as baixas porosidade e condutividade hidráulica, a origem hidromórfica e a presença de camada naturalmente impermeável nestes solos. Em razão destes atributos, apresentam baixa taxa de infiltração de água e dificuldades de drenagem por períodos relativamente longos. Além das limitações relacionadas ao excesso hídrico, a baixa taxa de infiltração reduz a quantidade de água armazenada para as plantas no perfil do solo, tornando as variações na umidade, ou seja,

tanto o excesso quanto a deficiência hídrica, os principais desafios para o estabelecimento e para a obtenção de altas produtividades de grãos de soja em terras baixas.

A disponibilidade hídrica adequada é fundamental para obtenção de produtividades altas e estáveis ao longo das safras, principalmente em regiões com distribuição irregular de chuvas. A deficiência hídrica diminui o crescimento e o desenvolvimento da planta e a produtividade das culturas, sendo considerada o principal estresse abiótico que limita a expressão do potencial produtivo da cultura da soja. Neste contexto, o rápido aumento da demanda da população mundial pela produção de alimentos e os altos custos de produção tornam essencial a busca por estratégias que visem melhorar o suprimento de água ao longo do ciclo das culturas agrícolas, seja pela irrigação ou pelas práticas de manejo que favoreçam o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, aumentando sua disponibilidade às plantas.

Nos últimos anos, observa-se crescimento no número de publicações envolvendo o uso de condicionadores de solo, que são produtos que aumentam a sua capacidade de armazenamento de água. Entre os principais condicionadores, tem-se os polímeros hidroretentores, também conhecidos como polímeros hidroabsorventes, hidrogéis, hidrogéis superabsorventes ou polímeros absorventes de água. Estes polímeros têm sido alvo de diversos estudos, que mostram que são capazes de absorver grande quantidade de água em relação à sua massa. Em função disso, poderiam aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, a sua quantidade disponível às plantas. Desta forma, estes produtos que, tradicionalmente, têm sido utilizados para melhorar o estabelecimento de

culturas perenes, também podem ser alternativa viáveis em culturas produtoras de grãos, visando otimizar o estabelecimento de plantas, a produtividade e o retorno econômico em condições de deficiência hídrica. Além disso, são considerados produtos seguros para as pessoas e para o ambiente, já que não poluem o solo nem o lençol freático e sofrem degradação natural por meios físicos e pela atividade microbiana do solo.

No entanto, há poucas informações a respeito da utilização dos polímeros hidroretentores na cultura da soja, especialmente em solos hidromórficos, que são predominantes nas áreas de terras baixas no sul do Brasil. Estes solos, além das características relacionadas às baixas capacidade de infiltração e de armazenamento de água, são frequentemente sujeitos à distribuição irregular de chuvas, o que torna a deficiência hídrica um dos principais desafios para obtenção de altas produtividades.

Neste sentido, percebe-se que houve aumento na disponibilidade de produtos comerciais e na procura por informações a respeito da eficácia de polímeros hidroretentores, principalmente em função das frequentes estiagens registradas nos últimos anos no estado do RS. Segundo a CONAB (2023), as estiagens nesse estado na safra 2022/23, ocasionaram uma quebra na produtividade média na ordem de 40% em relação à expectativa inicial.

### **1.1 Hipóteses**

A aplicação de polímero hidroretentor no sulco de semeadura de soja cultivada em Gleissolo é uma ferramenta para mitigar os efeitos da deficiência hídrica porque:

- i) aumenta o estabelecimento e a nodulação da planta;
- (ii) melhora atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de

água;

(iii) aumenta o crescimento e o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos.

### **1.2 Objetivo geral**

Avaliar o efeito da utilização de polímero hidroretentor no sulco de semeadura nos atributos físicos do solo e seus impactos no estabelecimento, na nodulação, no crescimento e desenvolvimento da planta e na produtividade de grãos de soja em um Gleissolo, em terras baixas, como alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica.

### **1.2 Objetivos específicos**

Avaliar a influência do polímero hidroretentor no sulco de semeadura de soja cultivada em Gleissolo como ferramenta para mitigar os efeitos da deficiência hídrica, quanto ao:

- Estabelecimento e a nodulação da planta.
- Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água.
- Crescimento, ao desenvolvimento e à produtividade de grãos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Aspectos gerais e importância econômica da cultura da soja no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul (RS)**

A área cultivada com soja no Brasil, na safra 2022/23, cresceu 4,4% em relação à safra anterior, passando de 41,5 milhões para 43,3 milhões de hectares (ha) (CONAB, 2023). Esse aumento é atribuído, entre outros fatores, ao avanço do cultivo em áreas de pastagens degradadas e, ainda, pela opção por esta oleaginosa em detrimento a outras culturas, devido à maior rentabilidade (CONAB, 2023). O estado do Rio Grande do Sul (RS) também registrou aumento na área cultivada com soja na safra 2022/23, em torno de 3,1%, passando de 6,36 milhões para 6,56 milhões de ha (CONAB, 2023). No entanto, a safra foi mais uma vez marcada pela distribuição irregular de chuvas, devido à ocorrência do fenômeno “La Niña”, que reduziu a produtividade média (CONAB, 2023).

A soja é a cultura de grãos mais importante no estado do RS, sendo, atualmente, a principal opção para a rotação de culturas na primavera-verão com o arroz irrigado, em terras baixas. A sua valorização econômica e os benefícios gerados ao arroz, entre os quais se destaca a possibilidade de rotação de mecanismos de ação de herbicidas e, por consequência, o controle

mais eficiente de plantas daninhas, são os principais fatores determinantes de sua expansão em terras baixas (Uhry Junior, Badinelli e Marchesan, 2020).

Acredita-se que a área cultivada com soja seguirá aumentando nas áreas de terras baixas do RS, pois a rotação de culturas é a melhor alternativa de manejo para reduzir o sério problema de resistência de plantas daninhas a herbicidas, que é comum nas lavouras de arroz irrigado. Além disso, mesmo com o aumento dos custos de produção, sua valorização tornou o cultivo da soja um investimento rentável para o orizicultor, com grande contribuição para a renda da propriedade (Almeida e Anghinoni, 2018).

O aumento da produtividade de grãos, associado à redução de custos e de riscos de insucesso, são fundamentais para a sustentabilidade do cultivo da soja (Zanon *et al.*, 2018). Entre os riscos, a ocorrência de adversidades meteorológicas é o principal fator a ser considerado no seu cultivo, especialmente em sistemas produtivos não irrigados (Sentelhas *et al.*, 2015). Como exemplo destas adversidades, pode-se citar a influência da quantidade e da distribuição de chuvas, que causa grande variabilidade na produtividade de soja no sul do Brasil, principalmente no RS, contrastando com a região centro-oeste, onde as chuvas são mais bem distribuídas durante o período de cultivo (Zanon *et al.*, 2018).

## **2.2 Efeitos da deficiência hídrica na soja**

O estresse causado pela deficiência hídrica ocorre quando a disponibilidade de água no solo é inferior à demanda hídrica exigida pela planta. A falta da reposição da água pelas chuvas diminui a disponibilidade de água no solo, a qual, associada a altas taxas de transpiração da planta, leva à

desidratação dos tecidos ao longo do tempo e, em consequência, à redução do estado hídrico da planta e à perda da homeostase celular. Este estresse gera a produção de espécies reativas de oxigênio, que podem causar danos a proteínas, lipídios, carboidratos e ácidos nucleicos (Dietz e Pfannschmidt, 2011). Como consequência, ocorre redução no desenvolvimento da planta e na produtividade das culturas, principalmente quando a deficiência hídrica ocorre associada a outros estresses, como alta temperatura do ar (Ashraf, 2010).

O efeito causado pela deficiência hídrica na produtividade das culturas varia de acordo com a espécie, com o estágio de desenvolvimento da planta e com sua duração e intensidade (Nuccio *et al.*, 2018). Em espécies da família Fabaceae, geralmente a redução da produtividade é menor quando a estiagem ocorre durante a fase vegetativa e maior durante a fase reprodutiva (Daryanto, Wang e Jacinthe, 2015; Buezo *et al.*, 2019; Cui *et al.*, 2019). A deficiência hídrica pode encurtar as fases vegetativa e reprodutiva da soja, influenciando, assim, a duração total do seu ciclo. Consequentemente, há menos tempo disponível para acúmulo e transporte de fotoassimilados, resultando em menor produtividade de grãos (Board e Kahlon, 2011).

Atualmente, as estiagens reduzem, em média, 15% da produção de milho e 40% da produção mundial de soja (Dinar, Tieu e Huynh, 2019). Para estes autores, as mudanças climáticas irão aumentar a temperatura global e magnificar ainda mais o problema da distribuição irregular de chuvas, diminuindo a produtividade em várias regiões no mundo e aumentando a necessidade de uso de irrigação na agricultura para garantia de obtenção de altas produtividades.



A deficiência hídrica durante o desenvolvimento da soja é a principal limitação para a expressão de seu potencial produtivo e a maior causa da variabilidade na produtividade de grãos observada entre safras, na maioria das lavouras brasileiras (Farias, Neponuceno e Neumaier, 2007). Para atingir elevado potencial produtivo, a soja necessita de, aproximadamente, 800 mm de água durante o ciclo, com distribuição regular, provida pelas chuvas e/ou irrigações, para atender à demanda, principalmente nos períodos mais críticos (Zanon, Streck e Grassini, 2016).

A disponibilidade adequada de água é importante durante todo o ciclo de desenvolvimento da soja. No entanto, os subperíodos de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos são considerados como os mais críticos (Sediyama, Silva e Borém, 2015; Almeida e Anghinoni, 2018). Neste contexto, a busca por novas técnicas ou práticas que permitam maior eficiência no cultivo, pelos ajustes na escassez dos recursos hídricos, tem sido alvo das pesquisas, para reduzir perdas ocasionadas pela deficiência hídrica (Fidelis *et al.*, 2018).

A otimização do uso da água das chuvas e/ou irrigações é importante não apenas nas regiões semiáridas e áridas, mas, também, nas regiões de clima tropical, para atender à demanda das culturas durante os períodos de deficiência hídrica, os quais tem se tornado mais frequentes, em função das mudanças climáticas (Orikiriza *et al.*, 2013; Saha, Sekharan e Manna, 2020).

### **2.3 O cultivo da soja em terras baixas no estado do RS**

Na safra 2022/23, foram semeados, aproximadamente, 840 mil ha de arroz irrigado e 506 mil ha de soja em solos de terras baixas no estado do RS

(Cera, 2023). Estes dados consolidam esta oleaginosa como a segunda cultura de grãos mais cultivada nestas áreas, ocupando cerca de 60% da área que, há poucos anos atrás, tinha, quase que exclusivamente, arroz irrigado como cultura produtora de grãos. No entanto, os solos de terras baixas apresentam características peculiares que dificultam o manejo da soja, como alta densidade natural, baixa porosidade e permeabilidade e dificuldade de drenagem, causada pela presença de uma camada subsuperficial praticamente impermeável. Além disso, são solos frequentemente submetidos à intensa utilização de mecanização nas operações agrícolas, o que contribui para sua desestruturação e compactação e resulta em maiores oscilações de umidade, prejudicando a emergência, o enraizamento e a nodulação de plantas de soja, refletindo-se em menor produtividade (Uhry Junior, Badinelli, e Marchesan, 2020).

A adequada nodulação da planta de soja depende da troca de sinais bioquímicos entre o rizóbio e a planta hospedeira. No entanto, esta associação também pode ser afetada por fatores abióticos (Lieven-Antoniou e Whittan, 1997). Dentre estes, estão a temperatura e a umidade relativa do ar, a fertilidade, e a acidez, a compactação e a umidade do solo, as quais podem influenciar diretamente a população e a eficiência dos rizóbios (Moreira e Siqueira, 2005). Em solos de terras baixas, a obtenção de uma nodulação adequada está entre os principais desafios enfrentados para o sucesso do cultivo da soja, principalmente em função de problemas relacionados à acidez, à compactação e ao excesso e à deficiência hídrica no solo. A deficiência hídrica é um dos principais estresses abióticos que afeta a interação simbiótica entre as plantas de soja e as rizobactérias, reduzindo a fixação biológica do

nitrogênio e, conseqüentemente, a produtividade (Kibido *et al.*, 2020). Além disso, a falta de água pode reduzir a quantidade de rizobactérias no solo e sua capacidade de infecção nas raízes das plantas (Hungria e Vargas, 2000).

Além de afetar a nodulação, a deficiência hídrica também é um dos principais estresses responsáveis por problemas no estabelecimento das lavouras, no crescimento e no desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, na produtividade de soja cultivada em terras baixas. No estado do RS, é comum a ocorrência de períodos de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento da soja na primavera-verão, com redução na produtividade de grãos. Em função disso, a deficiência hídrica é considerada o principal limitador para a obtenção de altas produtividades no sul do Brasil (Sentelhas *et al.*, 2015; Zanon, Streck e Grassini, 2016; Matzenauer, Radin e Cargnelutti Filho, 2018). O mesmo ocorre nas áreas arroseiras na metade sul do estado, nas quais a deficiência hídrica ocorre, principalmente, nos meses de dezembro e janeiro, quando a precipitação é menor que a evapotranspiração potencial da cultura da soja (Zanon *et al.*, 2018).

Diferentemente do que ocorre quanto à tolerância ao excesso hídrico, as cultivares de soja consideradas tolerantes à deficiência hídrica não mostram a eficiência esperada e, em condições de campo, são pouco utilizadas. Assim, a utilização de ferramentas que reduzam os efeitos da estiagem, como a irrigação, são fundamentais para a estabilidade e para o aumento da produtividade de soja (Tavares, 2007). No entanto, a exigência de alto investimento e os problemas operacionais encontrados para o acesso à água e à energia e para obtenção do licenciamento ambiental dificultam o amplo uso da irrigação em lavouras de soja (Winck, 2022).

Neste sentido, várias práticas têm sido buscadas visando o aumento da eficiência do uso da água em solos de terras baixas. Dentre estas, destacam-se a semeadura direta e/ou uso de plantas de cobertura, que visam manter os resíduos vegetais na superfície do solo e, com isso, aumentar a infiltração e reduzir a evaporação de água, e o uso de mecanismos descompactadores do solo, para aumentar a infiltração de água e a zona de exploração radicular. Outra maneira possível, mas não convencional, de mitigar os efeitos da deficiência hídrica é o aumento da capacidade de retenção de água com uso de condicionadores de solo. Desta forma, pode-se reduzir a percolação de água para camadas mais profundas do solo e minimizar a necessidade de irrigação (Saha, Sekharan e Manna, 2020). A adição de condicionadores de solo é considerada uma das mais eficientes práticas de manejo para melhorar a infiltração e a retenção de água, a drenagem, a aeração e a estrutura de poros do solo (Sekharan *et al.* 2019). Entre estes, os polímeros hidrotentores representam uma potencial estratégia para amenizar os efeitos da deficiência hídrica nas culturas produtoras de grãos, quando incorporados ao solo. Estes polímeros têm sido utilizados, de maneira mais frequente, em culturas perenes, visando melhorar o estabelecimento de plantas (Bodner, Nakhforoosh e Kaul, 2015; Felipe *et al.*, 2016).

#### **2.4 Uso de polímeros hidrotentores para mitigar os efeitos de deficiência hídrica**

Os polímeros hidrotentores, também conhecidos como polímeros hidroabsorventes, hidrogéis, hidrogéis superabsorventes ou polímeros

absorventes de água, possuem a característica de absorver e estocar água em sua estrutura tridimensional hidrofílica (Saha, Sekharan e Manna, 2020). Estes polímeros podem ser de origem natural (produtos derivados do amido) ou de origem sintética (produtos derivados do petróleo) (Navroski *et al.*, 2015), que são os mais utilizados (Monteiro Neto, 2017).

Os polímeros hidroretentores sintéticos são produtos que se destacam por serem capazes de melhorar as características físicas e químicas de um determinado substrato, principalmente aquelas relacionadas à capacidade de retenção de água, proporcionando resultados positivos em várias culturas agrícolas (Guilherme *et al.*, 2015). Estes polímeros mantêm sua integridade estrutural após serem hidratados e têm a estrutura menos danificada pelas condições meteorológicas adversas (Patra *et al.*, 2022). Possuem redes reticuladas tridimensionais, obtidas química ou fisicamente, com capacidade de se expandirem e absorverem água em sua estrutura porosa, sem se dissolverem (Gerlach e Arndt, 2009; Ahmed *et al.*, 2015; Lauth e Kowalczyk, 2016). A definição da classificação do hidrogel como produto químico ou físico depende das ligações entre as cadeias poliméricas, as quais podem ser classificadas como ligações químicas covalentes ou como ligações físicas fracas (Caló e Khutoryanskiy, 2015).

A capacidade de absorção de água dos polímeros hidroretentores deve-se à presença de grupos funcionais hidrofílicos que estão ligados à estrutura em rede do polímero, enquanto que sua resistência à dissolução se deve às ligações cruzadas, também chamadas zonas de junção, entre as cadeias de polímeros (Gerlach e Arndt, 2009).

Dentre as características dos polímeros hidretentores, destaca-se a alta biodegradabilidade, sem formação de espécies tóxicas após sua degradação (Kumar *et al.*, 2020). De acordo com Nnadi (2012), estes polímeros são sensíveis à ação de raios ultravioleta, que quebram suas ligações e os degradam em oligômeros, que são moléculas menores, porém muito volumosas para serem absorvidas pela planta, eliminando qualquer risco de bioacumulação. Em consequência, estes oligômeros são mais sensíveis aos processos aeróbicos e anaeróbicos de degradação microbiológica, resultando na formação de água, dióxido de carbono e compostos nitrogenados. Portanto, são produtos que se degradam naturalmente no solo, onde possuem uma meia-vida de, aproximadamente, três a cinco anos (Ekebafé, Ogbeifun e Okieimen, 2011).

A aplicação de polímeros hidretentores na agricultura pode ser uma forma de aumentar a eficiência do uso da água e, em consequência, a produtividade das culturas. Conforme Kumar *et al.* (2020), estes polímeros reduzem o escoamento de água, aumentam a sua taxa de infiltração e capacidade de retenção no solo. Isto pode contribuir para maior penetração de raízes no solo, diminuindo os efeitos adversos da deficiência hídrica e da erosão. Ocorre, também, aumento na eficiência de uso de fertilizantes em função da redução de perdas por lixiviação, diminuindo custos de produção e poluição ambiental. Além disso, a aplicação de polímero no solo aumenta a disponibilidade de água, potencializa a germinação e a emergência das plântulas e aumenta os teores de água e de clorofila nas folhas em regiões áridas (El-Asmar, 2017).

No Brasil, os polímeros hidroretentores têm sido mais utilizados na horticultura para produção de mudas de diversas espécies (Fidelis *et al.*, 2018). Neste caso, estes produtos são geralmente aplicados misturados ao solo ou ao substrato, em concentração entre 0,1 a 0,5%, em peso (Buchholz e Graham, 1998). Como absorve grande quantidade de água, sua aplicação pode auxiliar no aumento da quantidade de água disponível no solo e atrasar o início do ponto de murcha permanente, liberando água e nutrientes para as plantas, quando o solo ao redor das raízes começa a secar (Kumar *et al.*, 2020).

## **2.5 Efeito de polímeros hidroretentores nos atributos físico-químicos do solo**

A estrutura do solo é afetada pelo seu uso e manejo e influencia a dinâmica de água no solo (Klein, 2014). As interações solo-água determinam as propriedades estruturais e hidrológicas do mesmo. Estas interações são moduladas pelo teor de água e pelas propriedades físico-químicas do solo, como a composição mineral, a distribuição e o tamanho de partículas e o teor de matéria orgânica (Brax, Buchmann e Schaumann, 2017). Os polímeros hidroretentores têm a capacidade de modificar as propriedades físico-químicas do solo, como a capacidade de retenção de água e sua estabilidade estrutural (Guilherme *et al.*, 2015).

Os solos de terras baixas possuem, de maneira geral, baixas porosidade e condutividade hidráulica. Desta forma, há pouca infiltração de água no solo, mesmo após chuvas de maior intensidade, pois ela escorre superficialmente, o que reduz sua capacidade de armazenamento e aumenta a necessidade de complementações hídricas pela irrigação (Almeida e Anghinoni, 2018). Os

polímeros hidroretentores podem reter a água das chuvas e/ou das irrigações, reduzindo sua percolação ao longo do perfil do solo (Kumar *et al.*, 2020). De acordo com Navroski *et al.* (2015), o uso de polímero melhora as características do substrato, principalmente as relacionadas à retenção de água, sendo que a aplicação da dose de 3 g L<sup>-1</sup> de polímero (equivalente a 6.000 kg ha<sup>-1</sup>) misturado ao substrato comercial Carolina Soil® reduziu a necessidade diária de irrigação entre 25 a 40%, no processo de produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. O polímero misturado ao solo absorve grande quantidade de água e, durante o processo de secagem, ele seca antes que o solo. No entanto, a aplicação do polímero no solo na concentração de 1% (equivalente a 20.000 kg ha<sup>-1</sup>) preserva a água por até oito dias a mais do que sem sua aplicação. Isto ocorre porque há economia de água, devida à redução de perdas por infiltração e evaporação (Bakass, Mokhlisse e Lallemand, 2002).

O aumento na capacidade de armazenamento de água e a redução na taxa de perda de umidade no solo com o uso de polímero hidroretentor também foram observados por Akhter *et al.* (2004), tanto em solos franco-arenosos quanto em solos argilosos. Em solo franco-arenoso, o uso de polímero atrasou o ponto de murcha permanente em um dia e meio, dois e cinco dias com as doses de 2.000, 4.000 e 6.000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em solo argiloso, por outro lado, seu uso atrasou o ponto de murcha permanente em quatro dias, independentemente da dose aplicada.

Saha *et al.* (2020) também relataram que a eficiência da utilização de polímero hidroretentor é relacionada com a fração granulométrica do solo (textura), no entanto, eles obtiveram aumentos mais significativos no teor de



água disponível às plantas quando aplicado em solos de textura grossa (arenosos) em comparação aos de textura mais fina (argilosos).

## **2.6 Suscetibilidade do subperíodo semeadura-emergência à deficiência hídrica**

O subperíodo semeadura-emergência da soja tem início com o contato da semente com o solo e termina quando os cotilédones se elevam acima do nível do solo. Apesar de ser um subperíodo relativamente curto, é determinante na definição do potencial produtivo da lavoura, pois é neste momento que se define um dos principais componentes da produtividade, que é a densidade ou população de plantas (Zanon *et al.*, 2018).

As sementes de soja necessitam absorver um volume de água correspondente a 50% do seu peso para iniciar o processo de germinação. Normalmente, a emergência ocorre entre sete a 10 dias após a semeadura, sendo que este tempo varia em função de umidade, textura e temperatura do solo, profundidade de semeadura e vigor de sementes (Mundstock e Thomas, 2005).

Durante o subperíodo semeadura - emergência, tanto o excesso quanto a deficiência hídrica prejudicam o estabelecimento de plantas de soja. Neste subperíodo, o conteúdo de água no solo não deve exceder 85% da capacidade máxima de retenção e nem ser inferior a 50% (Smiderle, 2019). Portanto, a adequada umidade do solo é fundamental para obtenção da densidade desejada de plantas na lavoura. No entanto, em solos de terras baixas é comum a ocorrência de lavouras com baixo ou irregular estande de plantas, o que ocorre tanto por excesso de umidade, principalmente nas semeaduras no

início da primavera, quanto por deficiência hídrica, principalmente nas semeaduras realizadas em dezembro, especialmente em sistema de preparo convencional (Almeida e Anghinoni, 2018).

Neste sentido, a utilização de condicionadores de solo, que possuem a capacidade de aumentar a retenção de água no solo, pode ser uma alternativa para melhorar o estabelecimento das culturas. Roy *et al.* (2019) afirmaram que a aplicação de 5 kg ha<sup>-1</sup> de polímero hidroretentor, incorporado aos primeiros 15 cm do solo, aumentou em 29% e 40%, respectivamente, a densidade de plantas e o perfilhamento de trigo, em comparação ao tratamento sem aplicação, em função do aumento na disponibilidade de água. Em soja, Abraão *et al.* (2020) mostraram que o uso de polímero hidroretentor no sulco de semeadura, na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, aumentou em 4% a densidade de plantas emergidas em relação à testemunha, mesmo sem ocorrência de deficiência hídrica no subperíodo semeadura-emergência.

Portanto, é possível que o uso de polímeros hidroretentores aumente a disponibilidade de água no sulco de semeadura da soja, o que pode ser suficiente para beneficiar a cultura, principalmente no subperíodo semeadura-emergência, onde se define a população de plantas estabelecida por unidade de área, componente da produtividade que é sensível às oscilações de umidade no solo.

## **2.7 Resposta da produtividade de soja à aplicação de polímeros hidroretentores**

Ainda há poucas informações a respeito do uso de polímeros hidroretentores em culturas produtoras de grãos (Fidelis *et al.*, 2018). Segundo

estes autores, sua utilização no sulco de semeadura da soja, nas doses de 14 a 18 kg ha<sup>-1</sup>, aumentou a estatura de planta, o número de legumes por planta e a massa de 100 grãos, resultando em aumento de 105% na produtividade de grãos. De forma similar, Pelegrin *et al.* (2017) relatam que o uso de polímero hidretentor junto ao fertilizante aumenta a massa de mil grãos e o número de grãos por legume da soja, resultando em aumento de 13% na produtividade de grãos, com a dose de máxima eficiência técnica de 15 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, Abraão *et al.* (2020) mostraram que a utilização de até 20 kg ha<sup>-1</sup> de polímero hidretentor no sulco de semeadura aumentou o número de grãos por legume e a massa de mil grãos e, em consequência, a produtividade de grãos de soja. A maior produtividade foi obtida com 5 kg ha<sup>-1</sup> de polímero, 40% superior à testemunha sem polímero.

Por outro lado, Ferrari *et al.* (2015) mostraram que, apesar do uso do polímero hidretentor no sulco de semeadura ter aumentado o número de grãos por planta, a massa de grãos por planta e o número de legumes por planta, a produtividade de grãos de soja não foi significativamente afetada. Da mesma forma, Pereira *et al.* (2022) relataram que o uso de 30 kg ha<sup>-1</sup> de polímero hidretentor não aumentou a produtividade de grãos da soja, durante dois anos de avaliação, em regimes hídricos mais restritivos (representando 30% e 50% de reposição da evapotranspiração). No entanto, no segundo ano, estes autores observaram aumentos na produtividade de 20 a 40%, dependendo da cultivar, mas somente nos tratamentos com 83% e 100% de reposição da evapotranspiração, via irrigação suplementar.

A baixa adoção do uso de polímeros hidrorretentores nas culturas produtoras de grãos ocorre, principalmente, devido às altas taxas de aplicação, que elevam os custos de produção (Rajanna *et al.*, 2022).

## 2.8 Referências

ABRAÃO, P. C. *et al.* Influência de hidrogel em caracteres fitotécnicos da soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 54287-54303, 2020.

AHMED, M. A. *et al.* Effect of soil drying on mucilage exudation and its water repellency: a new method to collect mucilage. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 178, n. 6, p. 821–824, 2015.

AKHTER, J. *et al.* Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. **Plant, Soil and Environment**, Prague, v. 50, n. 10, p. 463–469, 2004.

ALMEIDA, D.; ANGHINONI, I. **Projeto Soja 6.000: manejo para alta produtividade em terras baixas**. 2. ed. Porto Alegre: IRGA, 2018. 96 p. (Boletim Técnico).

ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. **Biotechnology Advances**, New York, v. 28, n. 1, p. 169-183, 2010.

BAKASS, M.; MOKHLISSE, A.; LALLEMANT, M. Absorption and desorption of liquid water by a superabsorbent polymer: effect of polymer in the drying of the soil and the quality of certain plants. **Journal of Applied Polymer Science**, Hoboken, v. 83, n. 2, p. 234-243, 2002.

BOARD, J. E.; KAHLON, C. S. Soybean yield formation: what controls it and how it can be improved. *In*: EL-SHEMY, H. A. **Soybean physiology and biochemistry**. Rijeka, Croatia: InTech Open Access, 2011. p. 1-36.

BODNER, G.; NAKHFOROOSH, A.; KAUL, H-P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 35, p. 401-442, 2015.

BRAX, M.; BUCHMANN, C.; SCHAUMANN, G. E. Biohydrogel induced soil–water interactions: how to untangle the gel effect? A review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 180, n. 2, p. 121–141, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jpln.201600453>. Acesso em: 11 nov. 2020.

BUCHHOLZ, F. L.; GRAHAM, A. T. **Modern superabsorbent polymer technology**. New York: Wiley-VCH, 1998. 279 p.

BUEZO, J. *et al.* Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 166, n. 1, p. 88–104, 2019.

CALÓ, E.; KHUTORYANSKIY, V. V. Biomedical applications of hydrogels: a review of patents and commercial products. **European Polymer Journal**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 252–267, 2015.

CERA, J. C. **Boletim de resultados da safra 2022/23 em Terras Baixas: arroz irrigado e, soja e milho em rotação.** Porto Alegre: IRGA, ago2023. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202308/23105302-boletim-de-resultados.pdf>. Acesso em: 4 set. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra 2022/23: décimo levantamento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos**, Brasília, DF, v. 10, n. 10, p. 1-110, jul. 2023. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos/item/download/48137\\_6239e58c7fc01900f76618eb4ca2bb01](https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos/item/download/48137_6239e58c7fc01900f76618eb4ca2bb01). Acesso em: 27 jul. 2023.

CUI, Y. *et al.* Quantitative assessment of soybean drought loss sensitivity at different growth stages based on S-shaped damage curve. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 213, n. 1, p. 821–832, 2019.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P-A. Global synthesis of drought effects on food legume production. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n. 6, [art.] e0127401, [p. 1-16], 2015.

DIETZ, K. J.; PFANNSCHMIDT, T. Novel regulators in photosynthetic redox control of plant metabolism and gene expression. **Plant Physiology**, Rockville, v. 155, n. 4, p. 1477–1485, 2011.

DINAR, A.; TIEU, A.; HUYNH, H. Water scarcity impacts on global food production. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 212–226, 2019.

EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEMEN, F. E. Polymer applications in agriculture. **Biokemistri**, Ilorin, v. 23, n. 2, p. 81-89, 2011.

EL-ASMAR, J. *et al.* Hydrogel banding improves plant, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. **CLEAN: Soil, Air, Water**, Weinheim v. 45, n. 7, [art.] 1700251, [p. 1-9], 2017.

FARIAS, J. R. B.; NEPONUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** Londrina, Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Relatório Técnico, 48). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470308/1/circtec48.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

FELIPPE, D. *et al.* Efeito do hidrogel no crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 1, p. 215-225, 2016.

FERRARI, M. *et al.* Hidroretentores: alternativa para maior tolerância ao déficit hídrico na cultura da soja. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 3, p. 21-29, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Szareski/publication/308440797\\_Hidroretentores\\_Alternativa\\_para\\_Maior\\_Tolerancia\\_ao\\_Deficit\\_Hidrico\\_na\\_Cultura\\_da\\_Soja/links/57e466a508ae06097a0bf94e/Hidroretentores-Alternativa-para-Maior-Tolerancia-ao-Deficit-Hidrico-na-Cultura-da-Soja.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Szareski/publication/308440797_Hidroretentores_Alternativa_para_Maior_Tolerancia_ao_Deficit_Hidrico_na_Cultura_da_Soja/links/57e466a508ae06097a0bf94e/Hidroretentores-Alternativa-para-Maior-Tolerancia-ao-Deficit-Hidrico-na-Cultura-da-Soja.pdf). Acesso em: 4 set. 2023.

FIDELIS, R. R. *et al.* Influência do uso do hidrogel no cultivo da soja sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 5, p. 1219-1224, 2018.

GERLACH, G.; ARNDT, K-F. **Hydrogel sensors and actuators: engineering and technology**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2009. v. 6. Disponível em: [https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fk\\_aEZTO-80C&oi=fnd&pg=PA1&ots=MIG-4J1Wt2&sig=Z8ALi3FrZGZFMGSVITjIQqXFQF0](https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fk_aEZTO-80C&oi=fnd&pg=PA1&ots=MIG-4J1Wt2&sig=Z8ALi3FrZGZFMGSVITjIQqXFQF0). Acesso em: 30 ago. 2023.

GUILHERME, M. R. *et al.* Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review. **European Polymer Journal**, Oxford, v. 72, n. 1, p. 365-385, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/172035/2-s2.0-84940575223.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 ago. 2023.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2/3, p. 151-164, 2000. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Mariangela-Hungria/publication/238634727\\_Environmental\\_factors\\_affecting\\_N2\\_fixation\\_in\\_grain\\_legumes\\_in\\_the\\_tropics\\_with\\_an\\_emphasis\\_on\\_Brazil/links/61079a9e169a1a0103cf88bc/Environmental-factors-affecting-N2-fixation-in-grain-legumes-in-the-tropics-with-an-emphasis-on-Brazil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mariangela-Hungria/publication/238634727_Environmental_factors_affecting_N2_fixation_in_grain_legumes_in_the_tropics_with_an_emphasis_on_Brazil/links/61079a9e169a1a0103cf88bc/Environmental-factors-affecting-N2-fixation-in-grain-legumes-in-the-tropics-with-an-emphasis-on-Brazil.pdf). Acesso em: 29 ago. 2023.

KIBIDO, T. *et al.* Improvement of rhizobium-soybean symbiosis and nitrogen fixation under drought. **Food and Energy Security**, Malden, v. 9, n. 1, [art.] e177, 2020.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: UPF, 2014.

KUMAR, R. *et al.* Hydrogel and its effect on soil moisture status and plant growth: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 9, n. 3, p. 1746-1753, 2020.

LAUTH, G. J.; KOWALCZYK, J. Gele: hydrogele und aerogele. *In*: LAUTH, G. J.; KOWALCZYK, J. **Einführung in die physik und chemie der grenzflächen und kolloide**. Berlin: Springer Spektrum, 2016. p. 429–436.

LIEVEN-ANTONIOU, C. A.; WHITTAM, T. S. Specificity in the symbiotic association of *Lotus corniculatus* and *Rhizobium loti* from natural populations. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 6, n. 7, p. 629-639, 1997.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; CARGNELUTTI FILHO, A. Rendimento de grãos de soja e de milho, no Rio Grande do Sul, não difere entre eventos El Niño Oscilação Sul. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2018.

MONTEIRO NETO, J. L. L. *et al.* Hydrogels in Brazilian agriculture. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 4, p. 347-360, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. *In*: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2005. cap. 9, p. 449-542.

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

NAVROSKI, M. C. *et al.* Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 467-476, 2015.

NNADI, F. N. Super Absorbent Polymer (SAP) and irrigation water conservation. **Irrigation & Drainage Systems Engineering**, Los Angeles, v. 1, n. 1, p. 11-23, 2012.

NUCCIO, M. L. *et al.* Where are the drought tolerant crops? An assessment of more than two decades of plant biotechnology effort in crop improvement. **Plant Science**, Clare, v. 273, n. 1, p.110–119, 2018.

ORIKIRIZA, L. J. B. *et al.* Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. **Journal of Environmental Protection**, Irvine, v. 4, n. 7, p. 713-721, 2013. Disponível em: [https://publications.goettingen-research-online.de/bitstream/2/58119/2/JEP\\_2013071810151695-1.pdf](https://publications.goettingen-research-online.de/bitstream/2/58119/2/JEP_2013071810151695-1.pdf). Acesso em: 29 ago. 2023.

PATRA, S. K. *et al.* Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. **International Journal of Polymer Science**, New York, v. 2022, [art.] ID4914836, [p. 1-15], 2022. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijps/2022/4914836/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

- PELEGRIN, A. J. *et al.* Polímeros hidrotentores na cultura da soja em condições de solo argiloso na região norte do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 175-182, 2017.
- PEREIRA, L. F. *et al.* The impact of polymer on the productivity and photosynthesis of soybean under different water levels. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 11, [art.] 2657, 2022.
- RAJANNA, G. A. *et al.* Biopolymeric superabsorbent hydrogels enhance crop and water productivity of soybean–wheat system in Indo-Gangetic plains of India. **Scientific Reports**, London, v. 12, n. 1, [art.] 11955, 2022.
- ROY, T. *et al.* Impact of Pusa hydrogel application on yield and productivity of rainfed wheat in North West Himalayan region. **Current Science**, Bangalore, v. 116, n. 7, p. 1246-1251, 2019.
- SAHA, A. *et al.* Quantifying the interactive effect of water absorbing polymer (WAP)-soil texture on plant available water content and irrigation frequency. **Geoderma**, Amsterdam, v. 368, [art.] 114310, 2020.
- SAHA, A.; SEKHARAN, S.; MANNA, U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 204, [art.] 104736, 2020.
- SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015.
- SEKHARAN, S. *et al.* Sustainable geotechnics: a bio-geotechnical perspective. *In*: GALI, M. L. (ed.). **Frontiers in geotechnical engineering**. Singapore: Springer, 2019. p. 313-331.
- SENTELHAS, P. C. *et al.* The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015.
- SMIDERLE, O. J. (coord.). **Cultivo de soja no cerrado de Roraima**. 2. ed. rev. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2019. 146 p. (Sistemas de Produção, 6). Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/339750771\\_Cultivo\\_de\\_Soja\\_no\\_Cerrado\\_de\\_Roraima](https://www.researchgate.net/publication/339750771_Cultivo_de_Soja_no_Cerrado_de_Roraima). Acesso em: 26 jul. 2023.
- TAVARES, V. E. Q. **Sistemas de irrigação e manejo de água na produção de sementes**. 2007. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.
- UHRY JUNIOR, D. F.; BADINELLI, P. G.; MARCHESAN, E. **Compactação do solo: um dos grandes desafios para o cultivo da soja em terras baixas**. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2020. 8 p. (Circular



Técnica, 005). Disponível em:  
<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202003/16154450-circular-tecnica-005-8.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

WINCK, J. E. M. **Lacunas de produtividade em soja no Rio Grande do Sul e caracterização fisiológica de genótipos com tolerância a déficit hídrico**. 2022. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

ZANON, A. J. *et al.* **Ecofisiologia da soja**: visando altas produtividades. Santa Maria: Ed. dos Autores, 2018.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 4, p. 1447-1454, 2016.

### 3 ARTIGO 1

#### **Uso de polímero hidroretentor como estratégia para mitigar efeitos de deficiência hídrica em soja em Gleissolo: efeitos no estabelecimento, na nodulação e no crescimento e desenvolvimento da planta**

Darci Francisco Uhry Junior; Christian Bredemeier

**RESUMO:** as características físicas que dificultam a permeabilidade de água no solo, associadas aos frequentes períodos de deficiência hídrica, estão entre os principais desafios para cultivo da soja em terras baixas, no estado do Rio Grande do Sul (RS). Neste sentido, os polímeros hidroretentores podem ser uma alternativa para aumentar a infiltração e a retenção de água nestes solos. Assim, este trabalho objetivou avaliar os efeitos do uso de polímero hidroretentor sob diferentes manejos de irrigação, no estabelecimento, na nodulação, no crescimento e no desenvolvimento da planta de soja cultivada em um Gleissolo em condições de casa de vegetação. Foram conduzidos dois experimentos no município de Cachoeirinha-RS, durante o ano agrícola 2021/22. No Experimento 1, foram comparadas três doses do polímero (0, 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup>) e dois manejos de irrigação após o estágio V2: irrigação a cada dois dias e deficiência hídrica progressiva. No Experimento 2, foram testadas quatro

doses (0, 10, 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup>) e três intervalos entre as irrigações: dois, quatro e seis dias. A utilização de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja melhora o estabelecimento, devido ao aumento da porcentagem de emergência e do índice de velocidade de emergência, com a dose de máxima eficiência técnica de 18 kg ha<sup>-1</sup>. Além disto, beneficia a nodulação, pois aumenta o número, o peso seco de nódulos por planta e o peso seco por nódulo, sendo a dose de máxima eficiência técnica de 29 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação do polímero, nas doses entre 23 e 32 kg ha<sup>-1</sup> aumenta o crescimento e desenvolvimento da planta, devido aos maiores pesos secos de raízes e parte aérea por planta, número de nós por planta, estatura de planta e diâmetro caulinar. No entanto, as interações observadas de doses de polímero e intervalos de irrigação para as características pesos secos de nódulos por planta e por nódulo, estatura de planta, diâmetro caulinar, número de nós por planta e peso seco da parte aérea por planta indicam que seus efeitos são mais evidentes quando a reposição de água é realizada com maior frequência. A deficiência hídrica reduz o estabelecimento, a nodulação, o crescimento e o desenvolvimento da planta de soja.

**Palavras-chave:** [*Glycine Max* (L.) Merrill], rotação de culturas, terras baixas, parâmetros morfofisiológicos, condições controladas.

### 3.1 Introdução

A soja [*Glycine Max* (L.) Merrill] é a cultura produtora de grãos mais importante no estado do Rio Grande do Sul (RS), sendo, atualmente, a principal opção para a rotação com arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). A sua valorização econômica e os benefícios gerados ao arroz com a rotação, entre

os quais se destaca a possibilidade de diversificação de mecanismos de ação de herbicidas e, por consequência, o controle mais eficiente de plantas daninhas, são os principais impulsionadores do avanço da área cultivada com soja em solos de terras baixas (Uhry Junior, Badinelli e Marchesan, 2020).

O aumento da produtividade de grãos, associado às reduções de custos e de riscos de insucesso, são fundamentais para a sustentabilidade do cultivo da soja. Neste sentido, a ocorrência de adversidades meteorológicas é o principal fator de risco ao seu cultivo (Zanon *et al.*, 2018). Dentre estas, as mais relevantes são as estiagens ocasionadas pela distribuição irregular de chuvas, problema que deve ser intensificado devido ao aumento da temperatura global em função das mudanças climáticas, ampliando a necessidade de uso de irrigação para garantia de obtenção de altas produtividades (Dinar *et al.*, 2019). Na maior parte das áreas cultivadas com soja no Brasil, a adequada disponibilidade de água durante o crescimento e o desenvolvimento da planta é a principal limitação para expressão do seu potencial produtivo e constitui-se na maior causa da variabilidade da produtividade de grãos observada entre safras (Farias *et al.*, 2007), especialmente nos dois subperíodos mais críticos, o de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (Sediyama *et al.*, 2015; Almeida e Anghinoni, 2018). Neste contexto, a busca por novas técnicas ou práticas que permitam maior eficiência no cultivo, pelos ajustes na escassez dos recursos hídricos, tem sido alvo das pesquisas, para reduzir perdas por deficiência hídrica nessa cultura (Fidelis *et al.*, 2018). Dentre estas técnicas, o uso de condicionadores de solo pode reduzir a percolação de água para camadas mais profundas do solo e minimizar a sua necessidade para irrigação (Saha, Sekharan e Manna, 2020), em função do aumento na retenção e na

infiltração de água, e na drenagem, por aumentar a aeração e a estrutura de poros do solo (Sekharan *et al.*, 2019).

Entre os condicionadores mais utilizados, destacam-se os polímeros hidroretentores, também conhecidos como polímeros hidroabsorventes, hidrogéis, hidrogéis superabsorventes ou polímeros absorventes de água. Eles são formados por redes reticuladas tridimensionais, obtidas química ou fisicamente, que possuem a característica de absorver e estocar água em sua estrutura hidrofílica (Gerlach e Arndt, 2010; Ahmed *et al.*, 2015; Lauth e Kowalczyk, 2016; Saha, Sekharan e Manna, 2020). Estes produtos absorvem grande quantidade de água e podem auxiliar aumentando a água disponível no solo e atrasando o início do ponto de murcha permanente, liberando água e nutrientes às plantas quando o solo, ao redor das raízes, começa a secar (Kumar *et al.*, 2020).

Os polímeros hidroretentores têm sido mais utilizados no Brasil para produção de mudas de diversas espécies hortícolas, sendo seu uso em culturas produtoras de grãos ainda pouco estudado (Fidelis *et al.*, 2018) e pouco utilizado, principalmente devido a necessidade de altas taxas de aplicação e, em consequência, do custo elevado (Rajanna *et al.*, 2022).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do uso de polímero hidroretentor sob diferentes manejos de irrigação, no estabelecimento, na nodulação, no crescimento e no desenvolvimento da planta de soja cultivada em um Gleissolo em condições de casa de vegetação.

### 3.2 Material e métodos

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação climatizada, coberta com duas camadas de filme plástico de polietileno transparente de alta densidade, sendo um no período de 32 dias, em 2021, e outro no período de 48 dias, em 2022, na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA-IRGA), nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 29°55'30" S, longitude 50°58'21" W e altitude de 7 m acima do nível do mar, localizada no município de Cachoeirinha, na Região Central do estado do RS. A casa de vegetação possuía um sistema de climatização regulado para manter a temperatura entre 28 e 33°C. O substrato utilizado foi um solo classificado como Gleissolo Háplico Distrófico típico (Santos *et al.*, 2018), cujos atributos físicos e químicos se encontram na Tabela 1.

**TABELA 1.** Atributos físicos e químicos do solo do Gleissolo utilizado nos dois experimentos, Cachoeirinha-RS

% argila	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP <sup>1</sup>	M. O. <sup>2</sup> (%)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K (mg dm <sup>-3</sup> )	Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC <sup>3</sup> efetiva
19	5,8	6,6	1,4	20,6	74	0,07	3,6	1,6	5,5

<sup>1</sup>Método de análise e correção de acidez do solo, que se baseia no poder tampão do solo; <sup>2</sup>Matéria orgânica; <sup>3</sup>Capacidade de troca de cátions.

O polímero hidroretentor escolhido foi um produto sintético comercial à base de poliácridamida, em grânulos. As doses utilizadas foram escolhidas em função de trabalhos anteriores com soja (Ferrari *et al.*, 2015; Pelegrin *et al.*, 2017; Fidelis *et al.*, 2018; Abraão *et al.*, 2020; Ali e Abdel-Aal, 2021) e, ainda, por serem doses próximas às recomendadas comercialmente para aplicação no sulco de semeadura da soja (entre 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup>).

No Experimento 1 (Exp. 1), utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, sendo os tratamentos dispostos em fatorial 3 x 2 (Doses x manejos de irrigação), com seis repetições. As doses do polímero foram: 0, 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup>. Já os manejos de irrigação foram: irrigação a cada dois dias (2D) e deficiência hídrica progressiva (DHP), ou seja, irrigação suspensa após o estágio V2 (Fehr e Caviness, 1977). A aplicação dos manejos de irrigação iniciou-se no estágio V2, para garantir o estabelecimento inicial das plantas em todos os vasos. No Experimento 2 (Exp. 2), o delineamento experimental utilizado foi, também, o de blocos ao acaso com seis repetições. No entanto, os resultados obtidos no Exp. 1 indicaram a necessidade da inclusão de outros dois intervalos entre as irrigações e de mais uma dose de polímero. Desta forma, os tratamentos foram dispostos em fatorial 4 x 3 (AxD). Os níveis do fator A constaram de quatro doses do polímero: 0, 10 e 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> e os do fator D foram três intervalos de irrigação, aplicados desde a semeadura: irrigação a cada dois dias (2D), a cada quatro dias (4D) e a cada seis dias (6D).

Em ambos os experimentos, foram utilizados baldes com dimensões de 30 cm de diâmetro na parte superior e 20 cm na parte inferior e 24,5 cm de altura, com capacidade para 12 L, onde foram adicionados 12 kg de solo seco ao ar, coletado no campo da EEA-IRGA, na camada de 0-10 cm. A reposição da água no solo foi realizada para 50% da capacidade de campo (CC), com base em ensaios preliminares, para evitar acúmulo e/ou escoamento. Para determinação da quantidade de água a ser adicionada ao solo seco para atingir esta umidade, foi realizada uma média de avaliações com cinco baldes com 12 kg de terra seca ao ar, onde o solo foi irrigado até à saturação. Após, estes foram drenados até atingir a CC (-6 kPa), quando então foram pesados para

quantificação do peso de água nessa umidade e posterior cálculo da umidade desejada. Nos tratamentos com irrigação, a reposição da quantidade de água foi realizada nos intervalos pré-determinados, pelo método de pesagens dos vasos, retornando a umidade a, aproximadamente, 50% da CC.

O Exp. 1 foi implantado no dia 24 de setembro e encerrado em 26 de outubro de 2021 e o Exp. 2 implantado no dia 21 de janeiro e encerrado em 10 de março de 2022. O polímero hidretentor foi aplicado em um sulco, aberto horizontalmente no centro de cada vaso a 7 cm de profundidade, nas doses pré-definidas, considerando o diâmetro superior do vaso ao nível do solo para cálculo da área. Em ambos os experimentos, foram semeadas oito sementes por vaso da cultivar de soja DM 66i68 RSF IPRO em cada sulco, a 3 cm de profundidade, as quais foram tratadas com fungicidas e inseticidas recomendados para a cultura (Reunião..., 2018) e inoculadas, antes da semeadura, com o equivalente a três doses de inoculante por hectare, com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. A calagem e a adubação foram realizadas conforme a análise do solo para expectativa de produtividade de grãos de  $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário +  $130 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  +  $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ ) (CQFS RS/SC, 2016). No Exp. 1, da semeadura até o estágio V2, quando foram iniciados os distintos manejos de irrigação, todos os baldes foram irrigados até, aproximadamente, 50% da CC, a cada dois dias. Já no Exp. 2, os distintos intervalos de irrigação foram realizados desde a semeadura, onde todos os baldes foram irrigados até cerca de 50% da CC, dentro dos intervalos pré-estabelecidos.

Em ambos os experimentos, após a semeadura, foram realizadas avaliações diárias até à estabilização das plântulas emergidas para a



determinação do índice de velocidade de emergência (IVE) e da porcentagem de emergência (%E). No Exp. 1, como estas avaliações foram realizadas antes da imposição dos diferentes manejos de irrigação, a análise estatística foi realizada considerando o experimento como um delineamento em blocos ao acaso, com 12 repetições de cada uma das três doses de polímero avaliadas. Após estas avaliações, realizou-se desbaste para uniformizar a população para seis plantas por vaso.

No Exp. 1, aos 28 dias após a semeadura (DAS) (estádio V3-V4), foram coletadas duas plantas por vaso, para determinação do peso seco da parte aérea por planta (PSPA). Aos 32 DAS (estádio V3-V5), quando as plantas dos vasos em que houve a suspensão da irrigação após o estágio V2 estavam próximas do ponto de murcha permanente, as quatro plantas restantes de cada vaso foram utilizadas para as seguintes avaliações: número de nós por planta (NP), conteúdo relativo de água na folha (CRAF), teor relativo de clorofila na folha (TRCF), estatura de planta (EST), diâmetro caulinar (DC), peso seco da parte aérea por planta (PSPA), número de nódulos por planta (NODP), peso seco de nódulos por planta (PSNP), peso seco por nódulo (PSPN), diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ), peso seco de raízes por planta (PSR) e razão peso seco de raízes/peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA). A variabilidade entre os estádios de avaliação na mesma data (DAS) deveu-se aos efeitos dos próprios tratamentos. No Exp. 2, aos 31 DAS (estádio V4-V6), foram coletadas duas plantas por vaso para realização das seguintes determinações: EST, PSPA, CRAF e TRCF. Aos 48 DAS, quando as plantas estavam em sua grande maioria no estágio R2, o que já estava inviabilizando o manejo de irrigação por pesagem dos baldes em função do

porte das mesmas, foram utilizadas as quatro plantas restantes de cada vaso para estas quatro avaliações e mais as seguintes: NP, DC, NODP, PSNP, PSPN,  $\Delta T$ , PSR e PSR/PSPA.

**Parâmetros avaliados:**

- **Índice de velocidade de emergência (IVE):** avaliado pela contagem diária das plântulas emergidas, até à estabilização da emergência (Nakagawa, 1994).
- **Porcentagem de emergência (%E):** avaliada após a estabilização do número de plântulas emergidas (Labouriau e Valadares, 1976).
- **Número de nós por planta (NP):** avaliado pela contagem do número de nós em quatro plantas por vaso nos estádios V3-V5 (Exp. 1) e R1-R2 (Exp. 2).
- **Conteúdo relativo de água na folha (CRAF):** este parâmetro, que estima o teor atual de água da folha em relação ao teor máximo de água que a folha pode reter em plena turgidez, foi determinado pela equação:  $CRAF (\%) = [(peso\ fresco - peso\ seco) / (peso\ túrgido - peso\ seco)] \times 100$  (Salvador *et al.*, 2012). Para determinação destes pesos foram utilizados discos foliares coletados dos dois folíolos centrais do último ou penúltimo trifólio completamente desenvolvido da planta. No Exp. 1, a avaliação foi realizada em quatro plantas por vaso, no estágio V3-V5. Já no Exp. 2, a avaliação foi realizada em duas plantas por vaso, no estágio V4-V6, e em quatro plantas por vaso no estágio R1-R2.
- **Teor relativo de clorofila na folha (TRCF):** determinado com o clorofilômetro Minolta (Modelo SPAD-520®), utilizando-se o último trifólio completamente desenvolvido da planta. A leitura é dada em unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Development), que indicam a intensidade da coloração verde da folha e, indiretamente, a quantidade de clorofila (Piekielek e Fox, 1992). No Exp. 1 a

avaliação foi realizada em quatro plantas por vaso, no estágio V3-V5, enquanto no Exp. 2, a avaliação foi realizada em seis plantas por vaso no estágio V4-V6 e em quatro plantas por vaso no estágio R1-R2. Considerou-se o valor médio por vaso.

- **Estatura (EST):** mensurada a partir da região do colo ao meristema apical, com o auxílio de uma régua graduada em milímetros. No Exp. 1, a avaliação foi realizada em quatro plantas por vaso, no estágio V3-V5, enquanto no Exp. 2 foram utilizadas seis plantas por vaso no estágio V4-V6 e quatro plantas por vaso no estágio R1-R2. Os resultados foram expressos em  $\text{cm planta}^{-1}$ .

- **Diâmetro caulinar (DC):** avaliado a 1 cm do solo, com auxílio de um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. No Exp. 1, a avaliação foi realizada em quatro plantas por vaso, no estágio V3-V5 e, no Exp. 2, em seis plantas por vaso no estágio V4-V6 e em quatro plantas por vaso no estágio R1-R2. Os resultados foram expressos em  $\text{mm planta}^{-1}$ .

- **Peso seco da parte aérea por planta (PSPA):** avaliado em duas coletas no Exp. 1. Na primeira (estádio V3-V4), foram coletadas duas plantas por vaso, enquanto na segunda (estádio V3-V5), as quatro plantas restantes em cada vaso. No Exp. 2, a avaliação foi realizada em duas plantas por vaso (estádio V4-V6) e em quatro plantas por vaso (estádio R1-R2). Considerou-se para estas avaliações a planta a partir da região do colo até o meristema apical. Este material foi colocado em estufa à temperatura de 60°C, por 72 horas. Após, realizou-se a pesagem e o valor foi extrapolado para  $\text{g planta}^{-1}$ .

- **Número de nódulos por planta (NODP), peso seco de nódulos por planta (PSNP) e peso seco por nódulo (PSPN):** para estas avaliações, utilizaram-se quatro plantas por vaso, nos dois experimentos. As plantas foram coletadas no

estádio V3-V5 (Exp. 1) e no estágio R1-R2 (Exp. 2), de forma a manter o sistema radicular. Após as coletas, o solo foi lavado para limpeza, separação e contagem do NODP. Posteriormente, este material foi colocado em estufa à temperatura de 60°C, por 72 h, para pesagem, sendo o valor expresso em mg planta<sup>-1</sup>. O PSPN foi obtido dividindo-se o peso total de nódulos pelo número de nódulos por planta, sendo o valor expresso em miligramas.

- **Peso seco de raízes por planta (PSR):** avaliado em quatro plantas por vaso, nos dois experimentos, nos estádios V3-V5 (Exp. 1) e R1-R2 (Exp. 2). Considerou-se a raiz até à região do colo da planta. Este material foi colocado em estufa à temperatura de 60°C, por 72 h. Após, realizou-se a pesagem e o valor foi extrapolado para g planta<sup>-1</sup>.

- **Diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ):** as avaliações foram realizadas no folíolo central do último trifólio completamente desenvolvido da planta, nos estádios V3-V5 (Exp. 1) e R1-R2 (Exp. 2), em quatro plantas por vaso. Utilizou-se um termômetro infravermelho digital a laser, marca ScanTemp, modelo ST – 600, para determinação da temperatura da planta, que foi comparada com a temperatura interna da casa de vegetação no momento da avaliação.

- **Razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA):** obtida pela divisão do PSR pelo PSPA.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ( $p < 0,05$ ), com auxílio do pacote estatístico R (The R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria; <http://www.r-project.org>). Havendo diferença significativa, as médias dos fatores qualitativos foram comparadas utilizando-se

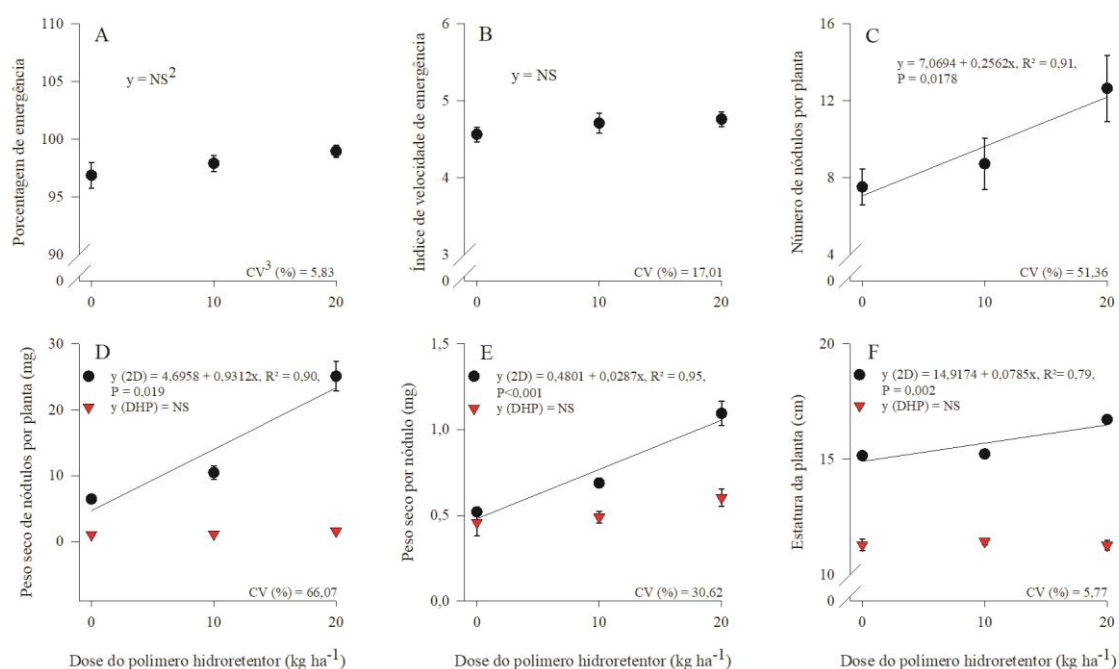
teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), e as médias dos fatores quantitativos foram submetidas à análise de regressão com o auxílio do software SigmaPlot 14.0.

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Experimento 1

##### 3.3.1.1 Estabelecimento da cultura

A porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência (IVE) foram avaliados antes da imposição dos distintos manejos de irrigação, sendo que o efeito do polímero hidrorretentor não foi significativo (Figuras 1A e 1B).



**FIGURA 1.** Porcentagem de emergência (A) e índice de velocidade de emergência (B) até o estágio VC<sup>1</sup>, número de nódulos por planta (C), no estágio V3-V5, em função de doses de polímero hidrorretentor no sulco de semeadura, na média de dois manejos de irrigação e peso seco de nódulos por planta (D), peso seco por

nódulo (E) e estatura de planta de soja (F), no estágio V3-V5, em função de doses de polímero hidroretentor e dois manejos de irrigação após o estágio V2: 2D (irrigação a cada dois dias) e DHP (deficiência hídrica progressiva), avaliados no Experimento 1. Cachoeirinha – RS, 2021. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

### 3.3.1.2 Nodulação da planta

O número de nódulos por planta (NODP) aumentou linearmente com o incremento da dose do polímero aplicada (Figura 1C). Com relação aos manejos de irrigação, com deficiência hídrica progressiva (DHP) o NODP foi menor em comparação ao tratamento com irrigação a cada dois dias (Tabela 2).

**TABELA 2.** Peso seco da parte aérea por planta (PSPA) no estágio V3-V4<sup>1</sup> e V3-V5, número de nódulos por planta (NODP), peso seco de raízes por planta (PSR), diâmetro caulinar (DC), número de nós por planta (NP), razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA), conteúdo relativo de água na folha (CRAF), teor relativo de clorofila na folha (TRCF) e diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) no estágio V3-V5, sob dois manejos de irrigação, na média de três doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja, avaliados no Experimento 1. Cachoeirinha, RS, 2021

Estádio	PSPA (g)	V3-V4					V3-V5				
		PSPA (g)	NODP	PSR (g)	DC (mm)	NP	PSR/PSPA	CRAF	TRCF	$\Delta T$ (°C)	
Manejo de irrigação após o estágio V2	DHP <sup>2</sup>	0,7 b	0,7 b	2,1 b	0,3 b	3,0 b	2,7 b	0,4 a	49,8 b	37,4 a	-1,1 a
	2D <sup>3</sup>	1,1 a	1,6 a	17,2 a	0,5 a	4,0 a	3,6 a	0,3 b	74,3 a	32,2 b	-4,8 b
CV <sup>4</sup> (%)	36.5	22.4	51.4	14.2	7.6	9.8	24.9	8.0	7.0	66.4	

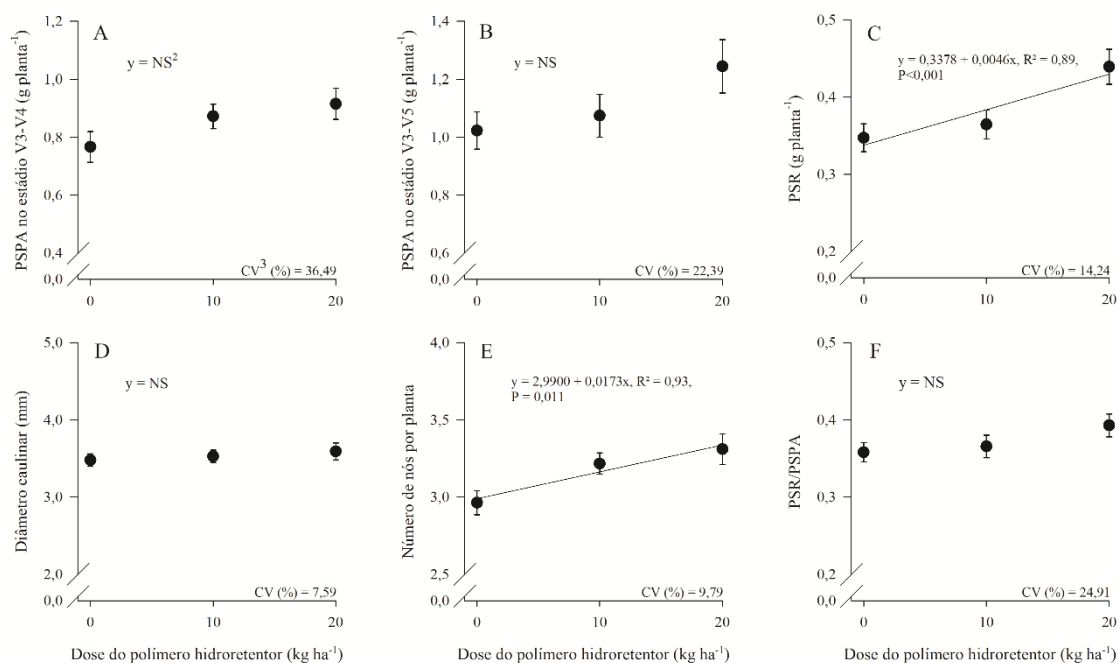
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de significância ( $p < 0,05$ ), pelo teste de Tukey. <sup>1</sup>Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Deficiência hídrica progressiva, irrigação suspensa após o estágio V2; <sup>3</sup>Irrigação a cada dois dias; <sup>4</sup>Coefficiente de variação.

Para as variáveis peso seco de nódulos por planta (PSNP) e peso seco por nódulo (PSPN) houve interação significativa entre os fatores testados. No tratamento DHP, não houve diferença entre as doses de polímero (Figuras 1D

e 1E). No entanto, no tratamento 2D, estas duas características aumentaram linearmente com o incremento da dose de polímero. Ao se comparar manejos de irrigação dentro de cada dose de polímero, apenas na testemunha sem polímero o PSNP não variou em função do manejo de irrigação. Nas doses de 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup> de polímero, o PSNP foi maior quando se manteve a irrigação a cada dois dias após o estágio V2 (Figura 1D). Já o PSPN foi significativamente maior no tratamento 2D somente na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> de polímero (Figura 1E).

### **3.3.1.3 Crescimento e desenvolvimento da planta**

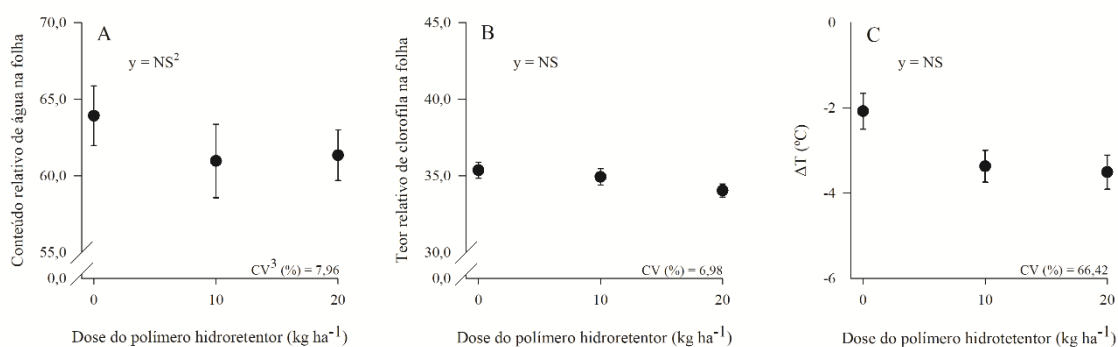
Apenas para a variável estatura de planta (EST) houve interação de doses de polímero e manejos de irrigação. Para as demais, foram analisados os efeitos principais dos fatores testados. Para EST, o desdobramento da interação mostrou que não houve efeito de doses de polímero no manejo DHP, ou seja, quando a irrigação foi suspensa após o estágio V2 (Figura 1F). No entanto, quando se manteve a irrigação a cada dois dias após este estágio, a EST aumentou de forma linear até a maior dose de polímero avaliada (20 kg ha<sup>-1</sup>). Na comparação entre manejos de irrigação dentro de cada dose de polímero, a estatura de planta foi menor no tratamento DHP em relação ao com irrigação a cada dois dias. O peso seco da parte aérea por planta (PSPA), nos dois estádios avaliados, não foi influenciado pela aplicação de polímero (Figuras 2A e 2B). No entanto, em relação ao manejo de irrigação, a deficiência hídrica progressiva (DHP) reduziu o PSPA em 36% e 56%, respectivamente, nas avaliações realizadas nos estádios V3-V4 e V3-V5 (Tabela 2).



**FIGURA 2.** Peso seco da parte aérea por planta (PSPA), no estádio V3-V4<sup>1</sup> (A), PSPA no estádio V3-V5 (B) e peso seco de raízes por planta (PSR) (C), diâmetro caulinar (D), número de nós por planta (E) e razão PSR/PSPA (F) no estádio V3-V5 em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura, na média de dois manejos de irrigação após o estádio V2: 2D (irrigação a cada dois dias) e DHP (deficiência hídrica progressiva). EEA-IRGA, Cachoeirinha, RS, 2021. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coeficiente de variação.

Quanto ao peso seco de raízes por planta (PSR), houve aumento linear com o incremento das doses de polímero (Figura 2C). Já em relação ao manejo de irrigação, a DHP reduziu o PSR em 40% quando comparado ao tratamento 2D (Tabela 2). As doses do polímero hidroretentor não interferiram significativamente no diâmetro caulinar (Figura 2D) e no conteúdo relativo de água na folha (Figura 3A). Porém, a interrupção da irrigação após o estádio V2 reduziu estes parâmetros significativamente (Tabela 2).





**FIGURA 3.** Conteúdo relativo de água na folha (A), teor relativo de clorofila na folha (B) e diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) (C) no estágio V3-V5<sup>1</sup> em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura, na média de dois manejos de irrigação após o estágio V2: 2D (irrigação a cada dois dias) e DHP (deficiência hídrica progressiva). EEA-IRGA, Cachoeirinha, RS, 2021. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

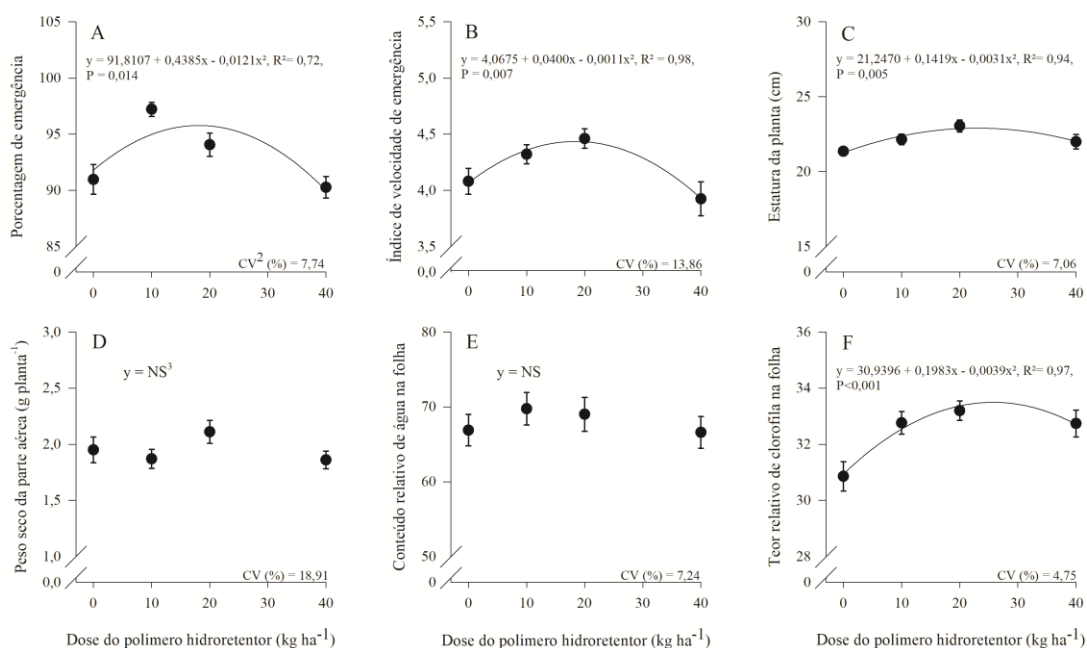
A razão PSR/PSPA (Figura 2F) e o teor relativo de clorofila na folha (Figura 3B) não variaram em função de doses de polímero aplicadas. Entretanto, a deficiência hídrica progressiva aumentou estes dois parâmetros, em comparação ao tratamento com irrigação a cada dois dias (Tabela 2). A avaliação da diferença entre as temperaturas da planta e a do ar ( $\Delta T$ ) não variou em função de dose de polímero hidroretentor (Figura 3C). No entanto, as plantas no manejo com irrigação a cada dois dias estavam com temperatura menor em relação à do ar (mais negativo = maior diferença) do que as do manejo com deficiência hídrica progressiva (Tabela 2).

### 3.3.2 Experimento 2

#### 3.3.2.1 Estabelecimento da cultura

Para porcentagem de emergência (%E) e índice de velocidade de emergência (IVE) não foi significativa a interação de dose de polímero e

manejo de irrigação, sendo que estes parâmetros aumentaram de forma quadrática com o incremento da dose, com a dose de máxima eficiência técnica de 18 kg ha<sup>-1</sup> para as duas características (Figuras 4A e 4B). Em relação ao manejo de irrigação, os maiores valores de %E foram obtidos nos intervalos de 2D e 4D, que foram, respectivamente, 11,6% e 7%, superiores ao intervalo de 6D (Tabela 3). Já para o IVE, o intervalo de dois dias entre as irrigações apresentou o maior valor que foram 22% e 44% superiores, respectivamente aos intervalos de quatro e de seis dias (Tabela 3).



**FIGURA 4.** Porcentagem de emergência (A), índice de velocidade de emergência (B), estatura de planta (C), peso seco da parte aérea por planta (D), conteúdo relativo de água na folha (E) e teor relativo de clorofila na folha (F) no estágio V4-V6<sup>1</sup> em função de doses de polímero hidrorretentor no sulco de semeadura da soja, na média de três intervalos de irrigação. Cachoeirinha – RS, 2022. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Coefficiente de variação; <sup>3</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão.

**TABELA 3.** Porcentagem de emergência (%E) e índice de velocidade de emergência (IVE) até o estágio VC<sup>1</sup>, estatura de planta (EST),

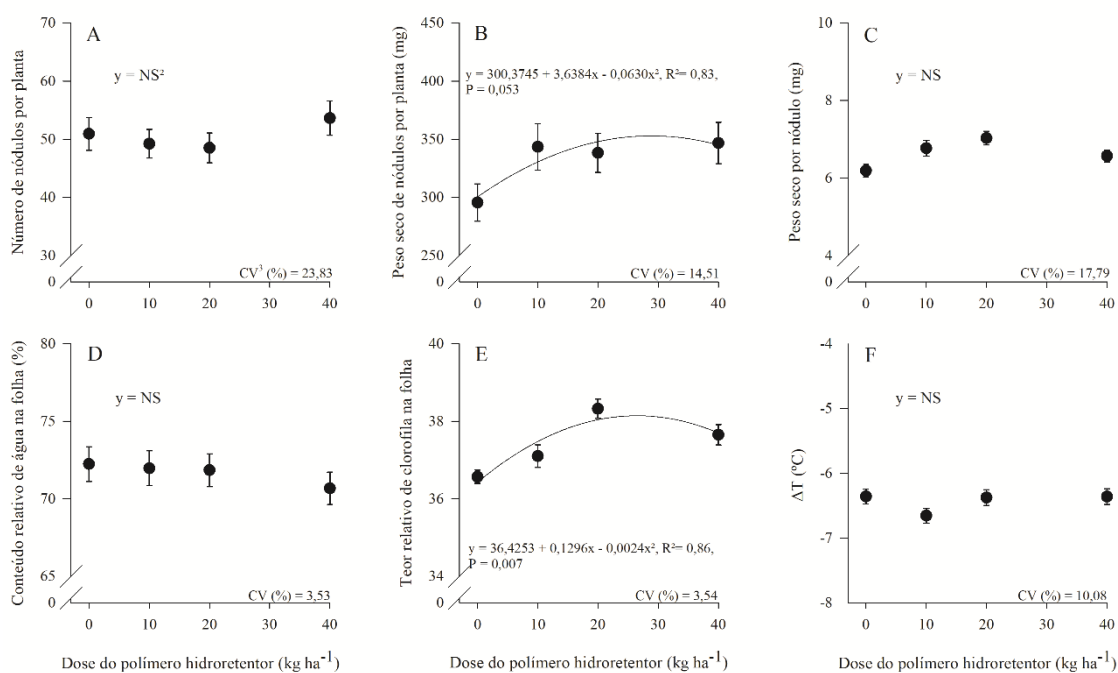
peso seco da parte aérea por planta (PSPA), conteúdo relativo de água na folha (CRAF) e teor relativo de clorofila na folha (TRCF), no estágio V4-V6, número de nódulos por planta (NODP), peso seco de nódulos por planta (PSNP), peso seco por nódulo (PSPN), CRAF, TRCF, diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ), EST, peso seco de raízes por planta (PSR), e razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA), no estágio R1-R2, em três intervalos de irrigações, na média de doses de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja, avaliados no Experimento 2. Cachoeirinha-RS, 2022

Estádio		%E	IVE	EST	PSPA	CRAF	TRCF	NODP	PSNP	PSPN	CRAF	TRCF	$\Delta T$	EST	PSR	PSR/	
		(cm)	(g)	(%)	(cm)	(g)	(%)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(°C)	(cm)	(g)	PSPA		
	Semeadura-VC	V4-V6						R1-R2									
Intervalo entre as irrigações (dias)	2D	97,9 a	5,0 a	24,9 a	2,9 a	76,1 b	30,3 b	71,3 a	478,5 a	6,9 a	78,4 a	39,5 a	-7,1 c	49,8 a	2,3 a	0,22 c	
	4D	93,8 a	4,1 b	22,8 b	1,8 b	83,7 a	29,9 b	55,1 b	369,0 b	7,2 a	77,0 a	36,9 b	-6,4 b	44,0 b	1,7 b	0,26 b	
	6D	87,7 b	3,5 c	18,8 c	1,2 c	44,3 c	37,0 a	25,3 c	145,4 c	5,9 b	59,7 b	35,9 c	-5,8 a	36,6 c	1,4 c	0,31 a	
CV <sup>2</sup> (%)		7.7	13.9	7.1	18.9	7.2	4.8	23.8	14.5	17.8	3.5	3.5	10.1	5.6	11.7	12.1	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de significância ( $p < 0,05$ ), pelo teste de Tukey. <sup>1</sup>Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Coefficiente de variação.

### 3.3.2.2 Nodulação da planta

Para número de nódulos por planta (NODP), peso seco de nódulos por planta (PSNP) e peso seco por nódulo (PSPN) não houve interação significativa entre os fatores. O incremento da dose de polímero não afetou o NODP e o PSPN (Figuras 5A e 5C), mas aumentou de forma quadrática o PSNP (Figura 5B), com dose de máxima eficiência técnica de 29 kg ha<sup>-1</sup>. Quanto ao manejo de irrigação, houve redução significativa do NODP com o aumento do intervalo entre as irrigações. O maior valor foi encontrado no tratamento 2D, que foi 29% e 182%, respectivamente, superior ao 4D e ao 6D (Tabela 3). Já para o PSPN, os manejos com 2D e 4D apresentaram valores significativamente superiores ao 6D. O PSNP reduziu-se significativamente com o aumento do intervalo. O maior valor foi encontrado no 2D, que foi 30% e 229%, respectivamente, superior ao 4D e ao 6D.



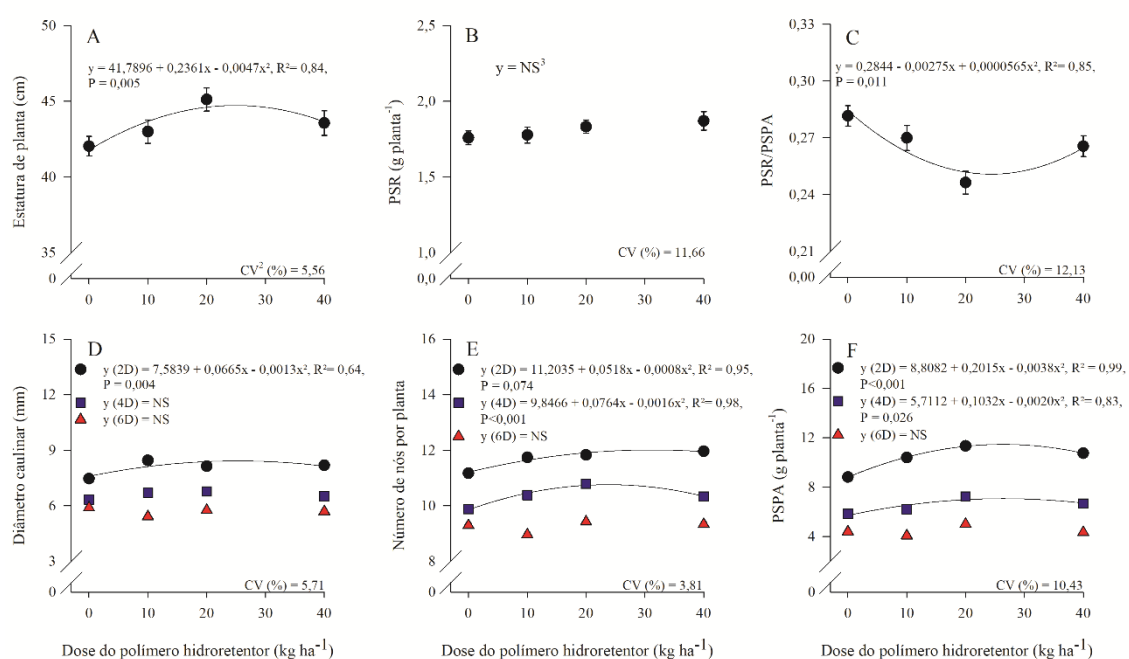
**FIGURA 5.** Número de nódulos por planta (A), peso seco de nódulos por planta (B), peso seco por nódulo (C), conteúdo relativo de água na folha (D), teor relativo de clorofila na folha (E) e diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) (F), no estágio R1-R2<sup>1</sup>, em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja, na média de três intervalos de irrigação. Cachoeirinha – RS, 2022. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

### 3.3.2.3 Crescimento e desenvolvimento da planta

Apenas para as avaliações diâmetro caulinar, número de nós por planta e peso seco da parte aérea por planta, no estágio R1-R2, houve interação de doses e intervalos de irrigação, para as demais foram analisados os efeitos principais dos dois fatores testados.

Para peso seco da parte aérea por planta (PSPA), não houve efeito de dose de polímero na primeira avaliação (estádio V4-V6) (Figura 4D). No entanto, em relação ao manejo de irrigação, o maior valor foi encontrado no tratamento 2D (Tabela 3), em relação ao qual o aumento dos intervalos de irrigação para 4D e 6D reduziu o PSPA em 38% e 58%, respectivamente. Já na

segunda avaliação (estádio R1-R2), o desdobramento da interação mostrou que, no manejo com intervalos de irrigação de 6D, não houve resposta à dose de polímero (Figura 6F). No entanto, nos manejos com intervalos de 2D e 4D, o PSPA aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de polímero, com as doses de máxima eficiência técnica sendo de 27 e 26 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na avaliação dos manejos de irrigação dentro de cada dose, em todas as doses o 2D apresentou os maiores valores do PSPA em relação ao 4D e, da mesma forma, este em relação ao tratamento 6D.



**FIGURA 6.** Estatura de planta (A), peso seco de raízes por planta (PSR) (B) e razão entre peso seco de raízes e peso seco da parte aérea por planta (PSR/PSPA) (C), no estágio R1-R2<sup>1</sup>, em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja, na média de três intervalos de irrigação. Diâmetro caulinar (D), número de nós por planta (E) e peso seco da parte aérea por planta (PSPA) (F) da planta de soja, no estágio R1-R2, em função de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja em três intervalos entre as irrigações (2, 4 e 6 dias). Cachoeirinha – RS, 2022. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Coefficiente de variação; <sup>3</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão.

Para diâmetro caulinar (DC), no estágio R1-R2, o desdobramento da interação mostrou que, nos manejos com intervalos de irrigação de 4D e 6D, não houve resposta à dose de polímero (Figura 6D). No entanto, no manejo com 2D, o DC aumentou de forma quadrática com o incremento da dose, sendo a dose de máxima eficiência técnica de  $26 \text{ kg ha}^{-1}$ . Na avaliação dos manejos de irrigação, em todas as doses o 2D apresentou os maiores valores do DC. Sem aplicação de polímero, o DC não diferiu entre os manejos com 4D e o 6D. Nas demais doses de polímero avaliadas, foi significativamente maior no 4D comparado ao 6D.

Para número de nós por planta (NP) (estádio R1-R2), a interação mostrou que, no tratamento 6D, não houve resposta à aplicação de doses de polímero (Figura 6E). No entanto, nos tratamentos 2D e 4D, o NP aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de polímero, respectivamente com doses de máxima eficiência técnica de  $32 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $24 \text{ kg ha}^{-1}$ . Na comparação dos manejos de irrigação dentro de cada dose, em todas as doses o 2D apresentou valores de NP significativamente maiores que o 4D e, este, também maior que o 6D.

A estatura de planta (EST) nos estádios V4-V6 e R1-R2 aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de polímero (Figuras 4C e 6A), com doses de máxima eficiência técnica de  $23$  e  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, para a primeira e a segunda avaliações. O intervalo entre as irrigações também interferiu significativamente na EST, nas duas avaliações efetuadas. O 2D foi 9% superior ao 4D e este 21% superior ao 6D, na avaliação entre os estádios V4-V6, enquanto que, na avaliação realizada no estágio R1-R2, a

superioridade do 2D em relação ao 4D foi de 13%, sendo este último 20% superior ao 6D (Tabela 3).

Para peso seco de raízes por planta (PSR), avaliado no estágio R1-R2, não houve efeito de doses de polímero (Figura 6B), sendo influenciado pelo manejo de irrigação. O maior valor foi encontrado no manejo com 2D, que foi 35% e 64%, respectivamente, superior aos manejos 4D e 6D (Tabela 3). A razão PSR/PSPA reduziu-se, de forma quadrática, com o incremento da dose de polímero, sendo de 24 kg ha<sup>-1</sup> a dose de máxima eficiência técnica (Figura 6C). Quanto aos intervalos entre as irrigações, o maior valor obtido foi no 6D, que foi 19% superior ao 4D e, este último, 18% superior ao 2D (Tabela 3).

A aplicação de polímero não influenciou o conteúdo relativo de água na folha (CRAF), avaliado nos estádios V4-V6 e R1-R2 (Figuras 4E e 5D). Porém, o CRAF apresentou diferenças significativas quanto aos intervalos entre as irrigações. Na avaliação realizada no estágio V4-V6, o maior valor foi encontrado no intervalo de quatro dias, que foi cerca de 10% superior ao de dois dias (Tabela 3). Já no intervalo de seis dias, o CRAF foi 47% inferior ao obtido no intervalo de quatro dias. A avaliação no estágio R1-R2 não apresentou diferença entre os intervalos de dois e quatro dias entre as irrigações. No entanto, o valor obtido no intervalo de seis dias foi 24% inferior ao 2D. Nas duas avaliações, o teor relativo de clorofila na folha (TRCF) aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de polímero (Figuras 4F e 5E). As doses de máxima eficiência técnica foram de 25 e 27 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para a primeira e a segunda avaliações. O manejo de irrigação também interferiu significativamente no TRCF. Na primeira avaliação, o intervalo de seis dias apresentou o maior valor, sendo 22% superior ao do

intervalo de dois dias (Tabela 3). Já na segunda avaliação, o maior valor de TRCF foi obtido no intervalo de dois dias, que foi 7% e 10%, respectivamente, superior aos intervalos de quatro e seis dias entre as irrigações.

A diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ), no estágio R1-R2, não variou em função de doses de polímero hidroretentor (Figura 5F). No entanto, o intervalo de dois dias entre as irrigações mostrou maior diferença (11% mais negativa) do que a encontrada no intervalo de quatro dias, que foi 11% mais negativa que a obtida no intervalo de seis dias entre as irrigações (Tabela 3).

### **3.4 Discussão**

No presente estudo, a deficiência hídrica prejudicou o estabelecimento da soja no Exp. 2, onde os distintos intervalos entre as irrigações foram impostos desde a semeadura, reduzindo o índice de velocidade de emergência e a porcentagem de emergência (Tabela 3). Segundo Liu *et al.* (2015), a deficiência hídrica é um dos principais estresses abióticos que restringem o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Os estádios de germinação e emergência estão entre os mais críticos em relação à disponibilidade de água, onde tanto o excesso quanto o déficit hídrico limitam o estabelecimento. Para germinarem, as sementes de soja precisam absorver 50% do seu peso em água (Smiderle *et al.*, 2019). Assim, para obtenção de um estande de plantas adequado é fundamental a adoção de medidas que garantam a presença de água em quantidade suficiente. Dentre estas medidas, pode-se destacar a época de semeadura, que deve ser realizada de forma que a germinação e a

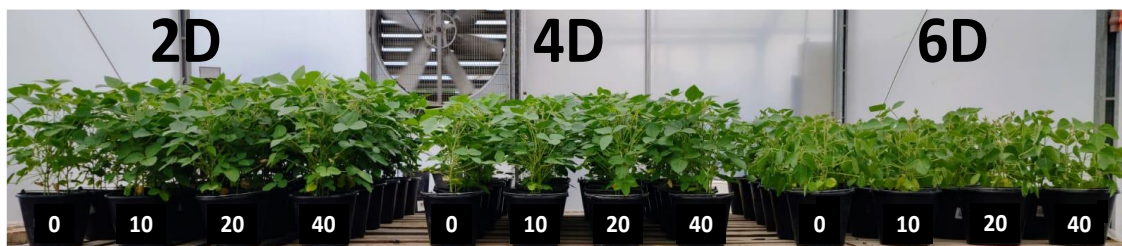


emergência ocorram num período com maior disponibilidade hídrica (Ferrari; Paz e Silva, 2015).

No presente estudo, o estresse ocasionado pela deficiência hídrica também interferiu na nodulação das plantas de soja. Para peso seco de nódulos por planta (PSNP) e peso seco por nódulo (PSPN), houve interação de doses de polímero hidrotentor e intervalos de irrigação no Exp. 1. Para o PSNP, só houve diferença significativa entre os intervalos de irrigação quando se utilizou o polímero (Figura 1D). Já para PSPN, a diferença entre os intervalos de irrigação só foi significativa com a dose do polímero de 20 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1E). Quando não houve interação de doses de polímero e intervalos de irrigação, a deficiência hídrica reduziu o número de nódulos por planta (NODP) (Tabelas 2 e 3), o PSNP e o PSPN (Tabela 3). Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, Ali e Abdel-Aal (2021) também relataram redução no NODP e no PSNP de soja quanto maior foi a deficiência hídrica (maior intervalo entre as irrigações). Da mesma forma, Hussein *et al.* (2019) verificaram que a exposição de plantas de soja à deficiência hídrica reduz o NODP. De acordo com Ladrera *et al.* (2007), a deficiência hídrica reduz o crescimento e a sobrevivência do rizóbio, a formação e a longevidade de nódulos, a síntese de leghemoglobina e as funções do nódulo, sendo que estresses severos por deficiência hídrica podem levar à interrupção irreversível da fixação do N<sub>2</sub>.

Nos dois experimentos, a deficiência hídrica também afetou o crescimento e o desenvolvimento da planta de soja. No Exp. 1, a avaliação da estatura (Figura 1F) e as do número de nós (Figura 6E) e do peso da parte aérea por planta (Figura 6F), entre os estádios R1-R2 no Exp. 2, apesar da

interação significativa, mostraram que, independentemente da utilização ou não do polímero hidroretentor, a deficiência hídrica reduz estes parâmetros. A estatura de planta é influenciada diretamente pela disponibilidade hídrica, pois a água é o principal constituinte dos tecidos vegetais das plantas e está ligada à manutenção da turgescência celular, fator fundamental para a fotossíntese e para o crescimento (Barbosa *et al.*, 2020). Desta forma, a deficiência hídrica reduz o crescimento da planta, pois afeta as trocas gasosas, a nutrição e as produções de amido e sacarose, que são as principais fontes de armazenamento de carboidratos nas plantas (Stein e Granot, 2019). A deficiência hídrica reduz a taxa fotossintética e altera a distribuição e o metabolismo do carbono na planta, levando ao esgotamento da energia e à diminuição da produtividade de grãos (Cuellar-Ortiz *et al.*, 2008). Além de reduzir significativamente a capacidade fotossintética das folhas de soja, a deficiência hídrica também diminui o crescimento e o metabolismo dos tecidos da parte aérea e das raízes (Ohashi *et al.*, 2006; Kunert *et al.*, 2016). Um efeito indireto da deficiência hídrica pode ser a redução na assimilação de nitrogênio pelas plantas, pois ela está diretamente ligada à formação de peso seco do crescimento vegetativo em geral (Nogueira *et al.*, 2010). De acordo com Farias *et al.* (2007), o estresse causado pela deficiência hídrica resulta em plantas pouco desenvolvidas, de pequena estatura, com folhas pequenas e entrenós curtos. A Tabela 3 e a Figura 7 mostram claramente a redução da estatura de planta com o aumento dos intervalos entre as irrigações.



**FIGURA 7.** Aspecto visual das unidades experimentais, separadas para as avaliações finais do estudo, com plantas de soja no estágio R1-R2<sup>1</sup>, em função de doses de polímero hidrorretentor (0, 10, 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup>) no sulco de semeadura e intervalos de irrigação (2, 4 e 6 dias), no Experimento 2. Cachoeirinha – RS, 2022. <sup>1</sup>Fehr e Caviness (1977); D = dias.

No Exp. 2, o diâmetro caulinar (DC) (Figura 6D) também mostrou interação de doses de polímero e intervalos de irrigação. O uso do polímero proporcionou maiores diferenças entre os intervalos de irrigação. Para as demais avaliações realizadas nos dois experimentos, não houve interação de doses de polímero e intervalos de irrigação. Na média de doses de polímero, a deficiência hídrica também reduziu as características morfológicas peso seco da parte aérea por planta (PSPA) (Tabelas 2 e 3), DC (Tabela 2), número de nós por planta (NP) (Tabela 2), estatura de planta (Tabela 3) e peso seco de raízes por planta (PSR) (Tabelas 2 e 3) e aumentou a razão PSR/PSPA (Tabelas 2 e 3). Corroborando com estes resultados, Pereira *et al.* (2016) relataram redução linear do PSPA, do PSR, do DC e do número de folhas por planta de soja com o aumento do período de deficiência hídrica após a semeadura. De acordo com Ali e Abdel-Aal (2021), o prolongamento dos intervalos de irrigação pode diminuir a umidade do solo na zona radicular e levar à deficiência hídrica e, em consequência, a diminuição do alongamento e da divisão de células, reduzindo o desenvolvimento radicular e a nodulação.

A razão entre os pesos secos de raízes e da parte aérea por planta (PSR/PSPA), de forma diferente das demais características morfológicas, reduziu-se com os menores intervalos entre as irrigações (Tabela 3). Corroborando com o resultado obtido neste estudo, Du *et al.* (2020) mostraram que a deficiência hídrica aumentou a razão PSR/PSPA em mudas de soja, devido à maior inibição do acúmulo de biomassa da parte aérea do que nas raízes. De acordo com estes autores, o crescimento da soja sob deficiência hídrica é principalmente regulado pelo metabolismo, alocação e transporte de açúcares na planta. De forma similar, observou-se no presente estudo que a deficiência hídrica favoreceu o crescimento radicular em comparação ao da parte aérea das plantas, constituindo-se numa estratégia das plantas para reduzir a perda de água e aumentar as chances de encontrá-la no solo.

A deficiência hídrica também reduziu o conteúdo relativo de água na folha (CRAF), no estágio V3-V5, do Exp. 1 (Tabela 2), e no intervalo 6D da avaliação realizada no estágio R1-R2, do Exp. 2 (Tabela 3). No entanto, a avaliação realizada no estágio V4-V6 do Exp. 2 apresentou maior valor de CRAF no intervalo 4D, o que se atribui à reidratação das plantas, sendo que a irrigação foi realizada neste intervalo e também no 2D, um dia antes da coleta das amostras para avaliação, conforme calendário pré-estabelecido. De forma similar, Fioreze *et al.* (2011) relataram redução no CRAF de genótipos de soja submetidos à deficiência hídrica em comparação aos mantidos sob irrigação. Já Ennahli e Earl (2005), avaliando condições de déficit hídrico suave, moderado e severo em algodão, observaram relação linear entre os valores de CRAF e o potencial hídrico foliar.

Quanto ao teor relativo de clorofila na folha (TRCF), não houve consistência nos resultados obtidos nos dois experimentos. Nas avaliações realizadas nos estádios V3-V5 (Exp. 1) e V4-V6 (Exp. 2) a deficiência hídrica aumentou o TRCF (Tabelas 2 e 3). No entanto, na avaliação realizada no estádio R1-R2 (Exp. 2), houve redução do TRCF com o aumento do intervalo entre as irrigações (Tabela 3). Normalmente, a baixa disponibilidade hídrica reduz os teores de clorofila (Zhang *et al.*, 2016), sendo este um mecanismo de defesa das plantas, com o objetivo de reduzir a captação de energia luminosa e, assim, o fluxo de elétrons para a cadeia de transferência de elétrons (Willadino *et al.*, 2011). A deficiência hídrica reduz o conteúdo de clorofila a e de carotenoides, as razões entre clorofila a e b e entre carotenoides e clorofilas totais. No Exp. 2, na avaliação realizada no estádio mais avançado (R1-R2), o TRCF aumentou com a redução do intervalo entre as irrigações. No entanto, nas avaliações realizadas nos estádios mais iniciais, V3-V5 (Exp. 1) e V4-V6 (Exp. 2), os maiores períodos de deficiência hídrica aumentaram o TRCF. Isto pode ser atribuído ao fato de que os teores de clorofila b e o conteúdo total de clorofilas aumentam quando as plantas são expostas à deficiência hídrica (Zhang *et al.*, 2016). Além disso, as respostas de aumento nos teores obtidas no presente estudo podem estar relacionadas à redução da expansão foliar causada pela deficiência hídrica e o consequente acúmulo de clorofila nas folhas das plantas.

A avaliação da diferença entre as temperaturas da planta e do ar ( $\Delta T$ ) nestes dois experimentos mostra que a deficiência hídrica impede a redução da temperatura do dossel das plantas em relação à temperatura ambiente (Tabelas 2 e 3). Isto ocorre porque a temperatura do dossel é uma função do

resfriamento foliar advindo do processo de transpiração, sendo um indicador da disponibilidade hídrica da planta associada ao sistema radicular e à capacidade das plantas buscarem água para este processo (Jumrani e Bhatia, 2019). Quando as plantas estão sob deficiência hídrica, as primeiras respostas envolvem o fechamento estomático, para reduzir a taxa transpiratória, no entanto, isso aumenta a temperatura do dossel (Dubey *et al.*, 2019).

Em relação às doses de polímero hidretentor aplicadas, o Exp. 2 mostrou que o polímero interfere no estabelecimento da soja, pois aumentou a porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência, sendo de 18 kg ha<sup>-1</sup> a dose de máxima eficiência técnica para estas duas avaliações (Figuras 4A e 4B). No Exp. 1, não houve diferença significativa nestes parâmetros com a utilização do polímero (Figuras 1A e 1B). Neste caso, o resultado é atribuído à uniformidade da umidade do solo, pois, como os diferentes manejos de irrigação foram impostos após o estágio V2, até este estágio a irrigação foi realizada a cada dois dias, mantendo a umidade próxima a 50% da capacidade de campo, o que foi suficiente para uma adequada germinação e emergência, independentemente de dose de polímero utilizada. Corroborando com os resultados obtidos no Exp. 2, Abraão *et al.* (2020) observaram que o uso de polímero hidretentor no sulco de semeadura, na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, mesmo sem deficiência hídrica durante o estabelecimento da soja, aumentou em, aproximadamente, 4% o número de plantas ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha, passando de 310.000 para 322.083 plantas ha<sup>-1</sup>. De forma similar, Roy *et al.* (2019) afirmaram que a utilização de 5 kg ha<sup>-1</sup> de polímero hidretentor, incorporado aos primeiros 15 cm do solo, aumentou a população de plantas na cultura do trigo em 22% em relação à testemunha

sem polímero, devido ao aumento da disponibilidade de umidade na camada superficial do solo.

Quanto à nodulação das plantas de soja, a interação de doses de polímero e intervalos de irrigação mostrou-se significativa no Exp. 1 para peso seco de nódulos por planta (PSNP) e peso seco por nódulo (PSPN), avaliados entre os estádios V3-V5, mostrando que só houve efeito do polímero sobre estas características quando a irrigação foi mantida a cada dois dias (Figuras 1D e 1E). Este mesmo experimento também mostrou que o uso de polímero, de forma independente do manejo de irrigação utilizado, aumentou o número de nódulos por planta (NODP) (Figura 1C). O Exp. 2 mostrou que o PSNP aumentou de forma quadrática com o uso do polímero, independentemente do manejo de irrigação (Figura 5B). De forma similar ao resultado observado no presente trabalho, Ali e Abdel-Aal (2021) relataram que a utilização de 9,52 kg ha<sup>-1</sup> de polímero hidrotentor no sulco de semeadura da soja aumentou o NODP e o PSNP e a atividade da enzima nitrogenase, em comparação ao controle. Para estes autores, o efeito positivo do polímero sobre a atividade da nitrogenase pode ser atribuído a um possível aumento na absorção de nutrientes, resultando em maior fixação biológica de nitrogênio.

No presente estudo, o crescimento e o desenvolvimento da planta de soja também foi influenciado pela utilização do polímero hidrotentor, com alterações nos caracteres morfológicos e fisiológicos das plantas. Quanto aos caracteres morfológicos, a interação de doses de polímero e intervalos de irrigação mostrou-se significativa para estatura de planta (EST), no estágio V3-V5 no Exp. 1 (Figura 1F), e também para as avaliações realizadas no estágio R1-R2, de diâmetro caulinar (Figura 6D), número de nós (NP) (Figura 6E) e

peso seco da parte aérea por planta (Figura 6 F), no Exp. 2. Estas interações mostraram que os maiores valores destas características foram obtidos com os menores intervalos entre as irrigações. Além disso, o Exp. 1 mostrou que o uso do polímero aumentou a EST (Figura 1F), o peso seco de raízes por planta (Figura 2C) e o NP (Figura 2E), independentemente do manejo de irrigação adotado. Da mesma forma, o Exp. 2 mostrou que o uso do polímero aumentou a EST nos estádios V4-V6 (Figura 4C) e R1-R2 (Figura 6A), independentemente do manejo de irrigação. De forma similar aos resultados destes dois experimentos, muitos pesquisadores relataram aumentos de características morfológicas de plantas de soja com a utilização de polímero hidrotentor em comparação à testemunha sem polímero, como peso seco total e área foliar por planta (Yazdani *et al.*, 2007), peso seco de raízes, número de folhas, área foliar e peso seco total por planta (Ali e Abdel-Aal, 2021) e estatura de planta (Fidelis *et al.*, 2018). Para Ali e Abdel-Aal (2021), o polímero hidrotentor aumenta o armazenamento de água e nutrientes solúveis, que são liberados conforme a necessidade das plantas para os tecidos de construção.

A razão entre o peso seco de raízes e parte aérea por planta (PSR/PSPA) não variou em função de doses de polímero hidrotentor no estágio V3-V5 do Exp. 1 (Figura 2F). Entretanto, no Exp. 2, na avaliação no estágio R1-R2, a razão reduziu-se de forma quadrática com o incremento da dose de polímero, sendo de 24 kg ha<sup>-1</sup> a dose de máxima eficiência técnica (Figura 6C). A maior razão PSR/PSPA foi obtida na testemunha, sem aplicação de polímero. De acordo com Du *et al.*, (2020), este aumento é atribuído à maior intensidade do estresse.



O uso do polímero hidroretentor também alterou algumas características fisiológicas, como o teor relativo de clorofila na folha (TRCF), que aumentou de forma quadrática com o incremento da dose, sendo de 25 e 27 kg ha<sup>-1</sup> (Figuras 4F e 5E), respectivamente, as doses de máxima eficiência técnica para a primeira e a segunda avaliações do Exp. 2. Este aumento do TRCF pode ser atribuído à maior disponibilidade de água na zona radicular da soja e à associação desta variável com outras, como a nodulação e o desenvolvimento das plantas, que também aumentaram com a utilização do polímero. A este respeito, vários autores relataram aumentos da estatura e do número de folhas por planta (Hussein *et al.*, 2019), da área foliar por planta (El-Shafey, 2017), do peso seco da parte aérea por planta (Ibrahim e Kandil, 2007) e do teor de clorofila na folha (El-Shafey, 2017), com maior disponibilidade hídrica no solo.

As reduções observadas nas características com regressão significativa do Exp. 2 na maior dose testada em comparação às doses intermediárias (aumento quadrático) podem ser atribuídas a uma possível redução da quantidade de oxigênio na região de aplicação do produto. De acordo com Navroski *et al.* (2015), a adição de altas doses de polímero hidroretentor aumenta a retenção de água e pode reduzir a aeração de raízes.

Os resultados obtidos nos presentes experimentos indicam que o polímero hidroretentor pode aumentar a disponibilidade de água às plantas. Porém, as diferenças observadas nestes dois experimentos realizados em casa de vegetação são mais perceptíveis quando a água é disponibilizada com maior frequência, o que mostra que o polímero precisa de água livre no solo para que possa absorvê-la e armazená-la. Desta forma, os efeitos observados foram mais evidentes quanto menor foi o intervalo entre as irrigações. No

entanto, há que se considerar que, em casa de vegetação, mesmo com o sistema de resfriamento, as temperaturas ficam mais altas durante o dia e, com o volume limitado de solo nos baldes e a ventilação forçada, a perda da água do solo pela evapotranspiração ocorre de forma mais intensa do que na condição de campo, onde os intervalos mais adequados entre as irrigações podem ser diferentes dos obtidos neste estudo sob condições controladas.

### **3.5 Conclusões**

A utilização de polímero hidrorretentor no sulco de semeadura da soja favorece o estabelecimento, devido ao aumento da porcentagem de emergência e do índice de velocidade de emergência, sendo a dose de máxima eficiência técnica de 18 kg ha<sup>-1</sup>. Também favorece a nodulação, pois aumenta o número e os pesos secos de nódulos por planta e por nódulo, com a dose de máxima eficiência técnica de 29 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, sua aplicação com doses entre 23 e 32 kg ha<sup>-1</sup> aumenta o crescimento e o desenvolvimento da planta, devido aos maiores pesos secos de raízes e parte aérea por planta, número de nós por planta, estatura de planta e diâmetro caulinar. No entanto, as interações observadas de dose de polímero e intervalos de irrigação para as características pesos secos de nódulos por planta e por nódulo, estatura de planta, diâmetro caulinar, número de nós por planta e peso seco da parte aérea por planta indicam que os efeitos do polímero são mais evidentes quando a reposição de água é realizada com maior frequência.

A deficiência hídrica prejudica o estabelecimento, a nodulação, o crescimento e o desenvolvimento da planta de soja.

### 3.6 Referências

- ABRAÃO, P. C. *et al.* Influência de hidrogel em caracteres fitotécnicos da soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 54287-54303, 2020.
- AHMED, M. A. *et al.* Effect of soil drying on mucilage exudation and its water repellency: a new method to collect mucilage. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 178, n. 6, p. 821–824, 2015.
- ALI, O. A. M.; ABDEL-AAL, M. S. M. Importance of some soil amendments on improving growth, productivity and quality of soybean grown under different irrigation intervals. **Egyptian Journal of Agronomy**, Cairo, v. 43, n. 1, p. 13-27, 2021.
- ALMEIDA, D.; ANGHINONI, I. **Projeto Soja 6.000: manejo para alta produtividade em terras baixas**. 2. ed. Porto Alegre: IRGA, 2018. 96 p. (Boletim Técnico).
- BARBOSA, J. R. *et al.* Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 2020.
- CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.
- CUELLAR-ORTIZ, S. M. *et al.* Relationship between carbohydrate partitioning and drought resistance in common bean. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 31, n. 10, p. 1399-1409, 2008.
- DINAR, A.; TIEU, A.; HUYNH, H. Water scarcity impacts on global food production. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 212–226, 2019.
- DUBEY, A. *et al.* Growing more with less: breeding and developing drought resilient soybean to improve food security. **Ecological Indicators**, New York, v. 105, p. 425-437, 2019.
- DU, Y. *et al.* Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 146, p. 1–12, 2020.
- EL-SHAFFEY, A. I. Response of soybean to water stress conditions and foliar application with salicylic and ascorbic acids. **Zagazig Journal of Agricultural Research**, Zagazig v. 44, n. 1, p. 1-22, 2017.
- ENNAHLI, S.; EARL, H. J. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 6, p. 2374-2382, 2005

FARIAS, J. R. B.; NEPONUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina, Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Relatório Técnico, 48). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470308/1/circtec48.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 15 p. (Special Report, 80).

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERRARI, M. *et al.* Hidroretentores: alternativa para maior tolerância ao déficit hídrico na cultura da soja. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 3, p. 21-29. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Szareski/publication/308440797\\_Hidroretentores\\_Alternativa\\_para\\_Maior\\_Tolerancia\\_ao\\_Deficit\\_Hidrico\\_na\\_Cultura\\_da\\_Soja/links/57e466a508ae06097a0bf94e/Hidroretentores-Alternativa-para-Maior-Tolerancia-ao-Deficit-Hidrico-na-Cultura-da-Soja.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Szareski/publication/308440797_Hidroretentores_Alternativa_para_Maior_Tolerancia_ao_Deficit_Hidrico_na_Cultura_da_Soja/links/57e466a508ae06097a0bf94e/Hidroretentores-Alternativa-para-Maior-Tolerancia-ao-Deficit-Hidrico-na-Cultura-da-Soja.pdf). Acesso em: 4 set. 2023.

FIDELIS, R. R. *et al.* Influência do uso do hidrogel no cultivo da soja sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 5, p. 1219-1224, 2018.

FIOREZE, S. L. *et al.* Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, p. 342-349, 2011.

GERLACH, G.; ARNDT, K-F. **Hydrogel sensors and actuators: engineering and technology**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2009. v. 6. Disponível em: [https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fk\\_aEZTO-80C&oi=fnd&pg=PA1&ots=MIG-4J1Wt2&sig=Z8ALI3FrZGZFMGSVITjIQqXFQF0](https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fk_aEZTO-80C&oi=fnd&pg=PA1&ots=MIG-4J1Wt2&sig=Z8ALI3FrZGZFMGSVITjIQqXFQF0). Acesso em: 30 ago. 2023.

HUSSEIN, H. *et al.* Response of soybean growth to nano-mineral fertilizers under two irrigation intervals. **Arab Universities Journal of Agricultural Sciences**, Cairo, v. 27, n. 2, p. 1405-1422, 2019.

IBRAHIM, S. A.; KANDIL, H. Growth, yield and chemical constituents of soybean (*Glycine max* L.) plants as affect by plant spacing under different irrigation intervals. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, Faisalabad, v. 3, n. 6, p. 657-663, 2007.

JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, New Delhi, v. 25, n. 3, p. 667-681, 2019.

- KUMAR, R. *et al.* Hydrogel and its effect on soil moisture status and plant growth: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 9, n. 3, p. 1746-1753, 2020.
- KUNERT, K. J. *et al.* Drought stress responses in soybean roots and nodules. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, [art.] 1015, [p. 1-7], 2016.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p. 174-186, 1976.
- LADRERA, R. *et al.* Reduced carbon availability to bacteroids and elevated ureides in nodules, but not in shoots, are involved in the nitrogen fixation response to early drought in soybean. **Plant Physiology**, Rockville, v. 145, n. 2, p. 539-546, 2007.
- LAUTH, G. J.; KOWALCZYK, J. Gele: hydrogele und aerogele. *In*: LAUTH, G. J.; KOWALCZYK, J. **Einführung in die physik und chemie der grenzflächen und kolloide**. Berlin: Springer Spektrum, 2016. p. 429–436.
- LIU, J. *et al.* Exogenous melatonin improves seedling health index and drought tolerance in tomato. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 77, n. 3, p. 317-326, 2015.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. *In*: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 49-85.
- NOGUEIRA, P. D. M. *et al.* Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 2, p. 117-124, 2010.
- OHASHI, Y. *et al.* Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 50, n. 1, p. 138-141, 2006.
- PELEGRIN, A. J. *et al.* Polímeros hidroretentores na cultura da soja em condições de solo argiloso na região norte do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 175-182, 2017.
- PEREIRA, C. S. *et al.* Germinação e crescimento inicial de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 09, n. 01, p. 33-40, 2016.
- PEREIRA, L. F. *et al.* The impact of polymer on the productivity and photosynthesis of soybean under different water levels. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 11, [art.] 2657, 2022.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

RAJANNA, G. A. *et al.* Biopolymeric superabsorbent hydrogels enhance crop and water productivity of soybean–wheat system in Indo-Gangetic plains of India. **Scientific Reports**, London, v. 12, n. 1, [art.] 11955, 2022.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 42., 2018, Três de Maio. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2018/2019 e 2019/2020**. Três de Maio: SETREM, 2019. 125 p.

ROY, T. *et al.* Impact of Pusa hydrogel application on yield and productivity of rainfed wheat in North West Himalayan region. **Current Science**, Bangalore, v.116, n. 7, p. 1246-1251, 2019.

SAHA, A.; SEKHARAN, S.; MANNA, U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 204, [art.] 104736, 2020.

SALVADOR, V. *et al.* Genetic analysis of relative water content (RWC) in two recombinant inbred line populations of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Plant Genetics, Genomics, and Biotechnology**, Fayetteville, v. 1, n. 2, p. 46-53, 2012.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015.

SEKHARAN, S. *et al.* Sustainable geotechnics: a bio-geotechnical perspective. *In*: GALI, M. L. (ed.). **Frontiers in geotechnical engineering**. Singapore: Springer, 2019. p. 313-331.

SMIDERLE, O. J. (coord.). **Cultivo de soja no cerrado de Roraima**. 2. ed. rev. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2019. 146 p. (Sistemas de Produção, 6). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339750771\\_Cultivo\\_de\\_Soja\\_no\\_Cerrado\\_de\\_Roraima](https://www.researchgate.net/publication/339750771_Cultivo_de_Soja_no_Cerrado_de_Roraima). Acesso em: 26 jul. 2023.

STEIN, O.; GRANOT, D. An overview of sucrose synthases in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, [art.] 95, [p. 1-14], 2019.

UHRY JUNIOR, D. F.; BADINELLI, P. G.; MARCHESAN, E. **Compactação do solo: um dos grandes desafios para o cultivo da soja em terras baixas**. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2020. 8 p. (Circular Técnica, 005). Disponível em:

<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202003/16154450-circular-tecnica-005-8.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

WILLADINO, L. *et al.* Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, p. 417-422, 2011.

YAZDANI, F.; ALLAHDADI, I.; AKBARI, G. A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max L.*) under drought stress condition. **Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS**, Faisalabad, v. 10, n. 23, p. 4190-4196, 2007.

ZANON, A. J. *et al.* **Ecofisiologia da soja**: visando altas produtividades. Santa Maria: Ed. dos Autores, 2018.

ZHANG, J. *et al.* Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 105, n. 4, p. 279-287, 2016.

## 4 ARTIGO 2

### Uso do polímero hidroretentor como alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica em soja em Gleissolo

Darci Francisco Uhry Junior; Christian Bredemeier

**RESUMO:** os solos de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul (RS) possuem limitações físicas que diminuem a infiltração de água e que, associadas às mudanças climáticas, impulsionam a busca por alternativas visando o armazenamento de água e o aumento da produtividade da soja. Neste contexto, a utilização de polímero hidroretentor surge como alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de doses de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja sobre os atributos físicos do solo, o crescimento e o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos de soja cultivada em Gleissolo. Foram conduzidos a campo dois experimentos, um no ano agrícola 2020/21, com a cultivar BS IRGA 1642 IPRO e sem irrigação complementar, e outro no ano agrícola 2021/22, com a cultivar DM 66i68 RSF IPRO e com irrigação complementar, em Cachoeirinha-RS. Os tratamentos corresponderam à aplicação de cinco doses do polímero hidroretentor (0, 10, 20, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup>)



no sulco da semeadura da soja. O uso de polímero em soja altera atributos físicos do solo, pois reduz a densidade e aumenta a microporosidade e a umidade de saturação do Gleissolo, sendo estas alterações maiores com o incremento da dose aplicada. O uso de polímero hidrotentor no sulco da semeadura não é uma alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica, pois somente num ano com maiores acumulados de chuva durante o ciclo de desenvolvimento da soja e com irrigações suplementares seu uso aumenta a produtividade de grãos, para a qual a dose de máxima eficiência técnica é de 40 kg ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill, rotação de culturas, atributos físicos do solo, crescimento e desenvolvimento da planta, produtividade de grãos.

#### 4.1 Introdução

Na safra 2022/23, foram semeados no estado do Rio Grande do Sul (RS) cerca de 840 mil hectares de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) e 506 mil hectares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em solos de terras baixas (Cera, 2023). Estes dados consolidam esta oleaginosa como a segunda cultura de grãos mais utilizada neste ambiente, ocupando cerca de 60% da área que há poucos anos atrás tinha, quase que exclusivamente, o arroz como cultura produtora de grãos. No entanto, os solos de terras baixas apresentam características peculiares que dificultam o manejo da soja, como alta densidade natural, baixas porosidade e permeabilidade e dificuldade de drenagem, causada por uma camada subsuperficial praticamente impermeável. Estas características dificultam a infiltração e o aproveitamento da água

disponibilizada por chuvas (Almeida e Anghinoni, 2018). Em consequência, nestes solos são frequentes as oscilações de umidade, que podem diminuir a emergência, o enraizamento e a nodulação de plantas e, em consequência, a produtividade de grãos de soja (Uhry Junior, Badinelli e Marchesan, 2020).

Além disso, no estado do RS é comum a ocorrência de períodos de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento da soja, que é considerada o principal limitante para obtenção de altas produtividades (Sentelhas *et al.*, 2015; Zanon, Streck e Grassini, 2016). Desta forma, cada vez mais torna-se necessário o uso de tecnologias para amenizar os efeitos da estiagem, a exemplo da irrigação, como forma de buscar estabilidade e aumento da produtividade (Tavares, 2007). No entanto, a grande maioria das lavouras de soja cultivada nesse estado não utiliza a irrigação, devido à exigência de alto investimento e aos problemas operacionais encontrados para os acessos à água e à energia elétrica e para obtenção de licenciamento ambiental (Winck, 2022).

Neste contexto, a adição de condicionadores de solo é considerada uma alternativa viável para aumentar a infiltração e a retenção de água e a drenagem, por aumentar a aeração e a estrutura de poros do solo (Sekharan *et al.*, 2019). Entre estes condicionadores, os polímeros hidroretentores estão sendo bastante utilizados em culturas perenes, para melhorar seu estabelecimento (Bodner *et al.*, 2015; Felipe *et al.*, 2016). Estes produtos destacam-se por serem capazes de melhorar as características físicas e químicas de um determinado substrato, principalmente as relacionadas à capacidade de retenção, à redução do escoamento e ao aumento da taxa de infiltração de água (Guilherme *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2020). Como o

polímero absorve grande quantidade de água, seu uso pode auxiliar no aumento da quantidade de água disponível no solo e atrasar o início do ponto de murcha permanente, liberando água e nutrientes às plantas, quando o solo ao redor das raízes começa a secar (Kumar *et al.*, 2020). Os polímeros hidroretentores podem modificar algumas propriedades físico-químicas do solo, como a capacidade de retenção de água e a sua estabilidade estrutural (Guilherme *et al.*, 2015), promovendo retenção da água das chuvas e das irrigações, com redução na percolação ao longo do perfil do solo (Kumar *et al.*, 2020).

Desta forma, o uso de polímeros hidroretentores incorporados ao solo representa uma potencial estratégia para amenizar os efeitos da deficiência hídrica em culturas produtoras de grãos. De acordo com Fidelis *et al.* (2018), a busca por novas técnicas ou práticas que permitam maior eficiência no cultivo, pelos ajustes na escassez dos recursos hídricos, tem sido alvo das pesquisas, como forma de reduzir perdas ocasionadas pela deficiência hídrica na cultura da soja. Assim, a hipótese deste trabalho é de que o uso do polímero hidroretentor no sulco de semeadura altera atributos físicos do solo e é uma alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica em soja cultivada em Gleissolo. O objetivo do trabalho foi avaliar a campo, durante dois anos agrícolas, os efeitos de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura sobre os atributos físicos do solo, o crescimento e o desenvolvimento da planta, a nodulação e a produtividade de grãos de soja cultivada em um Gleissolo.

## **4.2 Material e métodos**

Foram conduzidos dois experimentos a campo, sendo um no ano agrícola 2020/21, sem irrigação suplementar e com a cultivar BS IRGA 1642 IPRO e outro em 2021/22, com irrigação e com a cultivar DM 66i68 RSF IPRO. Optou-se em irrigar no segundo ano em função dos resultados obtidos no primeiro experimento. Os dois experimentos foram conduzidos na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA-IRGA) (Latitude: 29°55'30" S, longitude: 50°58'21" W, Cachoeirinha-RS), região orizícola da Planície Costeira Externa do estado do RS. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o clima é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), com regularidade de ocorrência de chuvas ao longo do ano e temperatura média anual em torno de 19 °C (Kuinchtner e Buriol, 2001). O solo do local é classificado como Gleissolo Háplico Distrófico típico (Santos *et al.*, 2018). De acordo com a caracterização de distribuição de tamanho de partículas realizada por Badinelli (2019) (dados não publicados), a textura do solo da EEA/IRGA apresenta predominância de partículas finas e muito finas, sendo composta por 200 g kg<sup>-1</sup> de argila, 340 g kg<sup>-1</sup> de silte e 460 g kg<sup>-1</sup> de areia, sendo que, desta quantidade de areia, 76% corresponde a partículas finas e muito finas.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos corresponderam à aplicação de cinco doses do polímero hidroretentor (0, 10, 20, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup>) no sulco de semeadura da soja. O polímero escolhido é um produto sintético comercial à base de poliácridamida, em grânulos. O intervalo de doses deste polímero foi determinado em função das quantidades utilizadas em trabalhos anteriores com soja (Ferrari *et al.*, 2015; Pelegrin *et al.*, 2017; Fidelis *et al.*, 2018; Abraão

*et al.*, 2020; Ali e Abdel-Aal, 2021) e por serem próximas às recomendadas comercialmente (entre 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup>).

As unidades experimentais apresentaram área total de 14 m<sup>2</sup>, compostas de quatro fileiras de plantas de 7 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m. A semeadura da soja no primeiro ano foi realizada no dia 02/12/2020 e, no segundo ano, no dia 03/12/2021, sendo que, nos dois anos, os experimentos foram implantados em áreas de pousio hibernar conduzidas sob preparo convencional. As quantidades aplicadas de adubo e calcário foram definidas com base nos atributos físicos e químicos do solo (Tabela 1), visando a expectativa de produtividade de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> (safra 2020/21: 2,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário + 60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 100 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O; safra 2021/22: 60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 100 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) (CQFS RS/SC, 2016). Inicialmente, a área recebeu aplicação de adubo em linha. Na sequência, o polímero foi aplicado, nas diferentes doses, manualmente nas linhas, a sete centímetros de profundidade. Após, o sulco foi parcialmente fechado até à profundidade de cerca de 3 cm, para deposição das sementes, também de forma manual, na densidade de 40 sementes m<sup>-2</sup>. A cultivar utilizada no primeiro ano foi a BS IRGA 1642 IPRO, grupo de maturidade relativa 6.4. No segundo ano a cultivar utilizada foi a DM 66i68 RSF IPRO, grupo de maturidade relativa 6.6. As sementes foram tratadas com fungicidas e inseticidas recomendados para a cultura da soja (Reunião..., 2018). A inoculação foi realizada nas sementes, antes da semeadura, com o equivalente a três doses de inoculante por hectare, com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. Nos dois anos, quando as plantas estavam próximas ao estágio V2, conforme escala de Fehr e Caviness (1977), a densidade de plantas foi ajustada para 28 plantas m<sup>-2</sup> pela realização de

desbaste. Os controles de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados conforme as indicações técnicas para a cultura da soja (Reunião..., 2018). A colheita no primeiro ano do experimento foi realizada no dia 19/04/2021 e, no segundo ano, no dia 05/05/2022.

**TABELA 1.** Atributos físicos e químicos do solo da área experimental nos dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Ano da análise	% argila	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP <sup>1</sup>	M. O. <sup>2</sup> (%)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K (mg dm <sup>-3</sup> )	Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC <sup>3</sup> efetiva
2020	20	5,3	6,3	1,8	53,4	81	0,11	3,6	0,8	4,7
2021	18	6,3	6,3	1,4	29,2	78	0,07	3,3	1,3	5

<sup>1</sup>Método de análise e correção de acidez do solo, que se baseia no poder tampão do solo; <sup>2</sup>Matéria orgânica; <sup>3</sup>Capacidade de troca de cátions.

#### 4.2.1 Avaliações dos atributos físicos do solo

Estas determinações foram realizadas apenas no primeiro ano do experimento, pela retirada de amostras de solo com estrutura indeformada, utilizando-se cilindros de 5 cm de altura e volume conhecido. Foram coletadas duas amostras nas duas linhas centrais em cada unidade experimental, na camada de deposição do polímero hidrorretentor, entre 3 e 8 cm de profundidade, logo após a colheita da soja, para não reduzir a área útil colhida por parcela. Foram determinadas a umidade de saturação (US) (0 kPa), a densidade do solo (DS), obtida pelo método do cilindro volumétrico, a umidade na coleta (UC), a porosidade total, a microporosidade (MICP) e a macroporosidade (MACP) do solo pelos métodos descritos por Teixeira *et al.* (2017). A água disponível às plantas é considerada como o volume de água armazenado entre a capacidade de campo (-6 kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500 kPa) (Klein, 2014). Já de acordo com Teixeira *et al.* (2017), é a diferença entre a umidade na tensão de -10 kPa e o ponto de murcha

permanente. No presente trabalho, as duas formas foram avaliadas. Para estimar o ponto de murcha permanente, utilizou-se a equação proposta por Klein *et al.* (2010), considerando o teor de argila determinado pela coleta de uma amostra de solo representativa da área experimental.

#### **4.2.2 Avaliações relativas ao crescimento e ao desenvolvimento da planta e à produtividade de grãos de soja**

- **Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI):** mensurado, nos dois anos agrícolas, pela leitura da reflectância do dossel com o radiômetro Greenseeker, deslocado paralelamente às duas fileiras centrais de cada parcela, a uma altura entre 0,8 e 1,0 m acima do topo do dossel. Este sensor faz uso de diodos de emissão de radiação nos comprimentos de onda do vermelho ( $650 \pm 10$  nm) e do infravermelho próximo ( $770 \pm 15$  nm), para determinação da reflectância. O NDVI é calculado conforme a relação:  $(IVP - V)/(IVP + V)$ , onde IVP refere-se à reflectância na região do infravermelho próximo ( $770 \pm 15$  nm) e V à reflectância na região do vermelho ( $650 \pm 10$  nm). Em cada ano agrícola foram realizadas seis avaliações ao longo do desenvolvimento da cultura, correspondendo aos estádios V7, R1, R3, R4, R5.5 e R6, no primeiro ano, e V7, R1, R3, R5, R5.5 e R7, no segundo ano.
- **Diâmetro caulinar (DC):** avaliado a 1 cm do solo, com auxílio de um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Nos dois anos agrícolas, esta avaliação foi realizada em 10 plantas por parcela no estádio R1. Os resultados foram expressos em  $\text{mm planta}^{-1}$ .
- **Peso seco da parte aérea por planta (PSPA):** mensurado pela coleta de duas amostras de 0,25 m<sup>2</sup> por parcela, com sete plantas em cada uma.

Considerou-se para estas avaliações a planta a partir da região do colo até o meristema apical. Este material foi colocado em estufa à temperatura de 60°C, por 72 horas. Após, realizou-se a pesagem e o valor foi extrapolado para g planta<sup>-1</sup>. Esta avaliação foi realizada com as plantas no estágio R1, nos dois anos agrícolas.

- **Teor relativo de clorofila na folha (TRCF):** determinado com o clorofilômetro Minolta (Modelo SPAD-520®), utilizando-se o último trifólio completamente desenvolvido da planta. A leitura é dada em unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Development), que indicam a intensidade da coloração verde da folha e, indiretamente, a quantidade de clorofila (Piekielek e Fox, 1992). Esta avaliação foi realizada em cinco plantas por parcela com as plantas no estágio R1, nos dois anos agrícolas.

- **Conteúdo relativo de água na folha (CRAF):** este parâmetro estima o teor atual de água da folha em relação ao teor máximo de água que a folha pode reter em plena turgidez, sendo determinado pela equação:  $CRAF (\%) = [(peso\ fresco - peso\ seco) / (peso\ túrgido - peso\ seco)] \times 100$  (Salvador *et al.*, 2012). Para determinação dos pesos foram utilizados discos foliares coletados dos dois folíolos centrais do último ou penúltimo trifólio completamente desenvolvido de cinco plantas por parcela no estágio R1. Esta avaliação foi realizada somente no primeiro ano agrícola.

- **Estatua de planta (EST):** mensurada a partir da região do colo ao meristema apical da planta, com uma régua graduada em milímetros. Nos dois anos agrícolas, esta avaliação foi realizada em 10 plantas por parcela nos estádios R1 e R8. Os resultados foram expressos em cm planta<sup>-1</sup>.



- **Altura de inserção do primeiro legume:** mensurada em 10 plantas por parcela a partir da região do colo ao 1º nó com legume, com uma régua graduada em milímetros. Esta avaliação foi realizada somente no segundo ano agrícola, com as plantas no estágio R8. Os resultados foram expressos em cm planta<sup>-1</sup>.

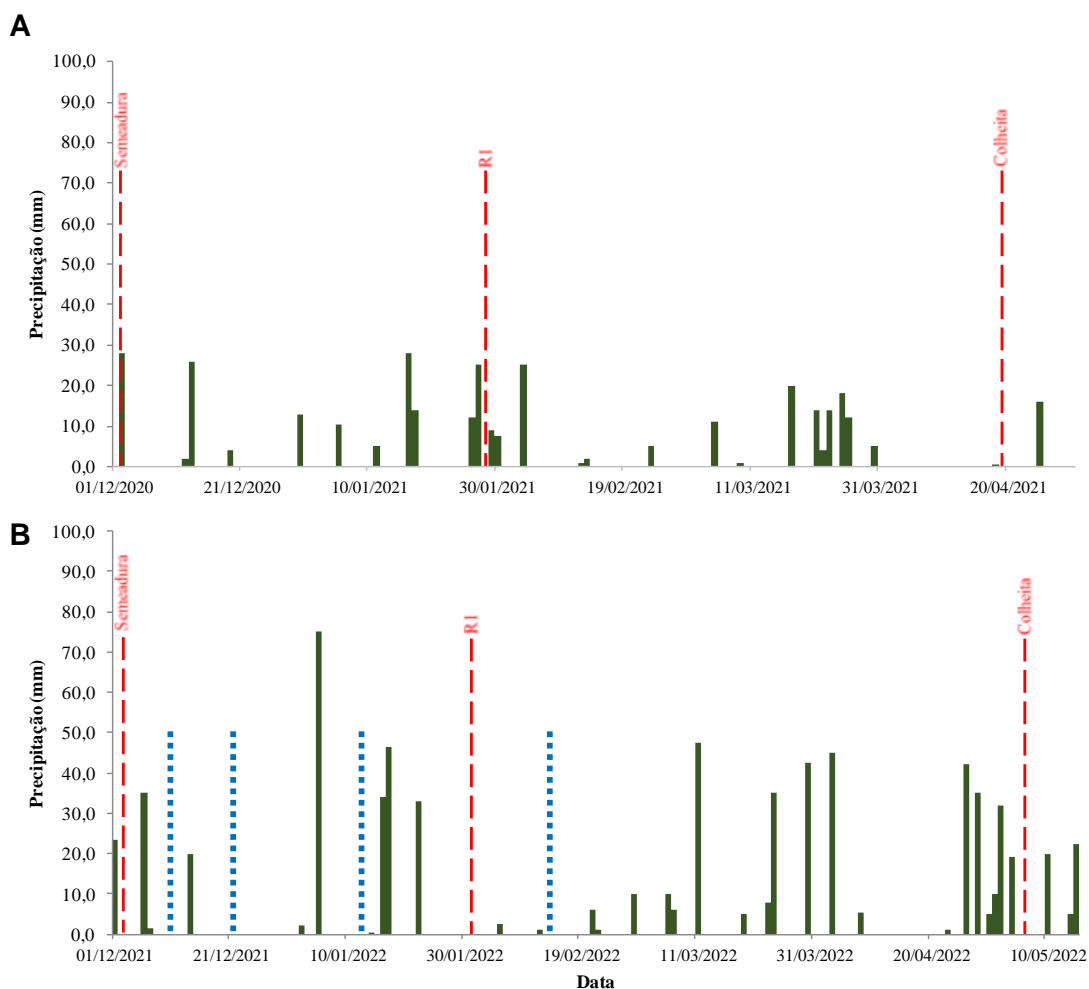
- **Número de nós por planta (NP) e número de nós férteis por planta:** nos dois anos agrícolas, fêz-se a contagem manual em 10 plantas das fileiras úteis por parcela, no estágio R8.

- **Número de nódulos por planta (NODP), peso seco de nódulos por planta (PSNP) e peso seco por nódulo (PSPN):** estas avaliações foram realizadas apenas no segundo ano, em quatro plantas por parcela, no estágio R1. Elas foram coletadas de forma a manter o volume de solo de 0,008 m<sup>3</sup> (20 x 20 x 20 cm), com uma pá de corte. Após, o solo foi lavado para limpeza e separação dos nódulos das raízes das plantas e para contagem do NODP. Posteriormente, este material foi colocado em estufa à temperatura de 60°C, por 72 h, para determinação do PSNP. O PSPN foi obtido dividindo-se o peso total de nódulos pelo número de nódulos por planta. Para as avaliações dos números de nós e de nós férteis por planta foram amostradas 10 plantas das fileiras úteis, realizando-se a contagem manual.

- **Produtividade de grãos e componentes da produtividade:** determinados no estágio R8, nos dois anos agrícolas, quando os grãos estavam com umidade em torno de 15%. A área colhida foi de 5 m<sup>2</sup> por parcela, o que corresponde a duas fileiras centrais de 5 m de comprimento, descartando-se, no mínimo, 0,5 m nas extremidades. Após a colheita, foi quantificado o peso de grãos por parcela, com posterior extrapolação para Mg ha<sup>-1</sup>, na umidade de

130 g kg<sup>-1</sup>. Para avaliação do número de legumes m<sup>2</sup> (LM2), avaliou-se previamente a quantidade de plantas por m<sup>2</sup> (PLM2) pela contagem em 4 m lineares das fileiras úteis e o número de legumes por planta (NLP), pela contagem em 10 plantas amostradas das fileiras úteis. Nestas plantas, realizou-se também a contagem de grãos em 100 legumes aleatórios por parcela para determinação do número de grãos legume<sup>-1</sup>. Para obtenção do número de legumes m<sup>2</sup> multiplicou-se os valores da PLM2 pelo NLP. Para determinação do peso de mil grãos, foram pesadas cinco amostras de 100 grãos por parcela, com correção da umidade para 130 g kg<sup>-1</sup>.

Nos dois experimentos, o volume acumulado de chuvas foi baixo e com distribuição irregular durante o ciclo de desenvolvimento da soja, devido à ocorrência do fenômeno “La Niña”, com totais de 317 e 617 mm de precipitação, respectivamente no primeiro e segundo anos (Figuras 1A e 1B). No primeiro ano, não foram realizadas irrigações suplementares, enquanto no experimento do segundo ano foram feitas quatro irrigações suplementares, quando o tensiômetro marcou tensão -60 kPa (Figura 1B). A irrigação foi feita por inundação, com vazão de 50 mm. A primeira foi realizada no dia 10/12/2021 (estádio VE - emergência) e as demais nos dias 22/12/2021 (estádio VC-V1), 13/01 (estádio V6-V8) e 14/02/2022 (estádio R2).



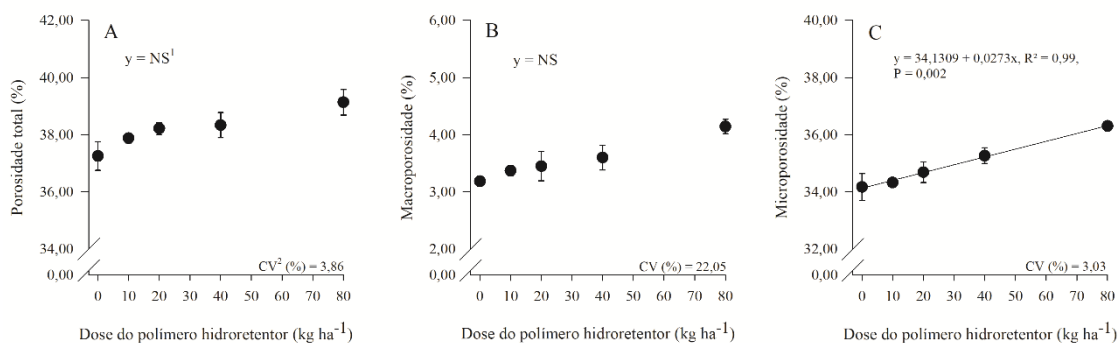
**FIGURA 1.** Precipitações pluviárias (mm) ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da soja nos anos agrícolas 2020/21 (A), cultivar BS IRGA 1642 IPRO, e 2021/22 (B), cultivar DM 66i68 RSF IPRO, irrigações (mm) realizadas no segundo ano (B) e datas de semeadura, início de florescimento (R1<sup>1</sup>) e da colheita. Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ( $p < 0,05$ ), com auxílio do pacote estatístico R (The R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria; <http://www.r-project.org>). Havendo diferença significativa, as médias foram submetidas à análise de regressão com o software SigmaPlot 14.0.

### 4.3 Resultados

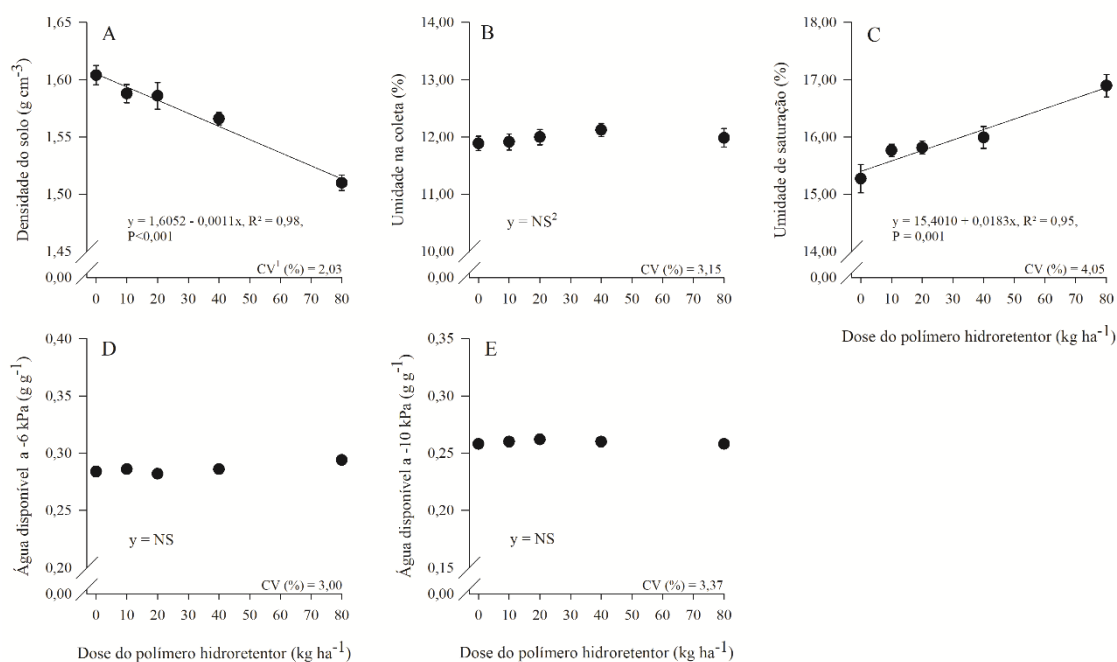
### 4.3.1 Atributos físicos do solo

Estes atributos foram avaliados apenas no primeiro ano agrícola, logo após a colheita da soja. A microporosidade aumentou linearmente com o incremento da dose de polímero hidroretentor (Figura 2C), enquanto a porosidade total (Figura 2A) e a macroporosidade (Figura 2B) não foram influenciadas pela sua aplicação.



**FIGURA 2.** Porosidade total (A), macroporosidade (B) e microporosidade do solo (C), avaliadas no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura da soja. Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>2</sup>Coefficiente de variação.

A densidade do solo (Figura 3A) decresceu linearmente, enquanto a umidade de saturação do solo (Figura 3C) aumentou linearmente com o incremento da dose de polímero hidroretentor (Figura 3A). Já a umidade no momento da coleta do solo (Figura 3B) e as quantidades de água disponível no solo, nas tensões de -6 kPa (Figura 3D) e de -10 kPa (Figura 3E), não foram influenciadas pela sua aplicação.



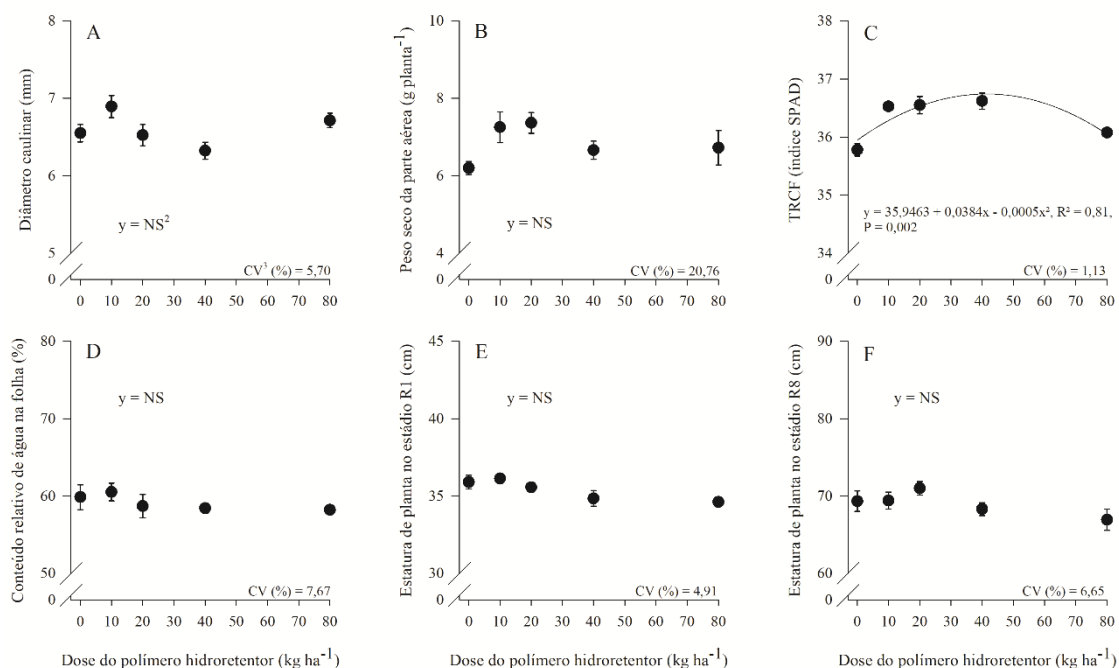
**FIGURA 3.** Densidade do solo (A), umidade na coleta do solo (B), umidade de saturação do solo (C) e quantidade de água disponível no solo, nas tensões de -6 kPa (D) e -10 kPa (E), avaliados no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidrorretentor aplicadas no sulco de semeadura da soja. Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Coefficiente de variação; <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão.

### 4.3.2 Características relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de soja

#### 4.3.2.1 Experimento 1 (ano agrícola 2020/21):

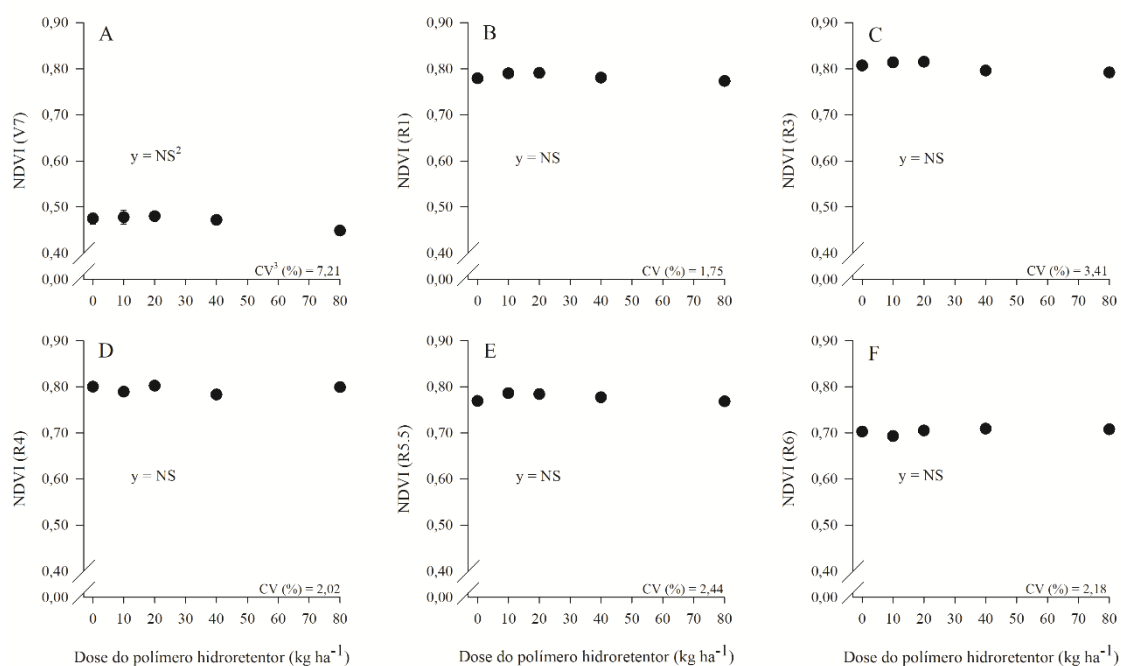
Neste ano, foi utilizada a cultivar de soja BS IRGA 1642 IPRO e o experimento foi conduzido sob condições naturais de precipitação. Na avaliação realizada no estágio R1, o diâmetro caulinar (Figura 4A), o peso seco da parte aérea por planta (Figura 4B), o conteúdo relativo de água na folha (Figura 4D) e a estatura de planta de soja (Figura 4E) não foram influenciados pela aplicação de polímero hidrorretentor no sulco de semeadura. Apenas o teor relativo de clorofila na folha aumentou de forma quadrática com o incremento

da dose de polímero (Figura 4C), sendo a dose de máxima eficiência técnica de 38 kg ha<sup>-1</sup>.



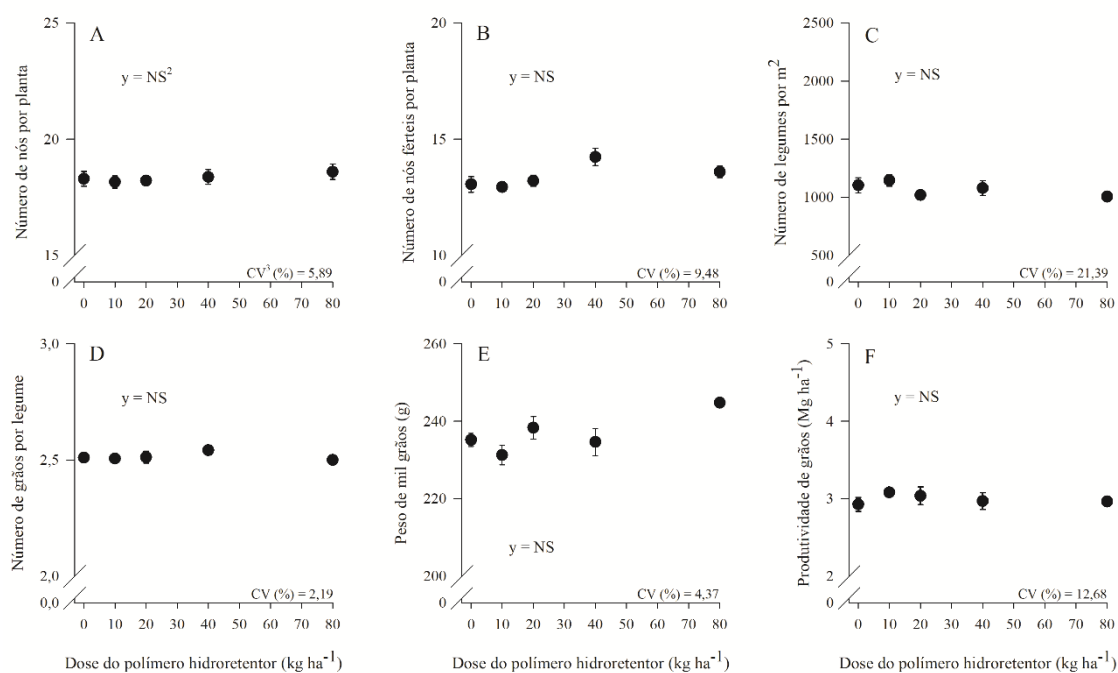
**FIGURA 4.** Diâmetro caulinar (A), peso seco da parte aérea por planta (B), teor relativo de clorofila na folha (C), conteúdo relativo de água na folha (D) e estatura de planta de soja (E), avaliados no estádio R1<sup>1</sup>, e estatura de planta no estádio R8 (F), no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura. Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), avaliado em seis estádios de desenvolvimento da planta, não foi influenciado pela aplicação de polímero hidroretentor (Figura 5).



**FIGURA 5.** Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), avaliado nos estádios V7<sup>1</sup> (A), R1 (B), R3 (C), R4 (D), R5.5 (E) e R6 (F) de desenvolvimento da soja, no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura, Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coeficiente de variação.

No estágio R8, também não houve efeito da aplicação do polímero nas características estatura de planta (Figura 4F), número de nós por planta (Figura 6A), número de nós férteis por planta (Figura 6B), número de legumes por metro quadrado (Figura 6C), grãos por legume (Figura 6D), peso de mil grãos (Figura 6E) e produtividade de grãos de soja (Figura 6F). A produtividade média obtida neste primeiro ano foi de 3,00 Mg ha<sup>-1</sup>.

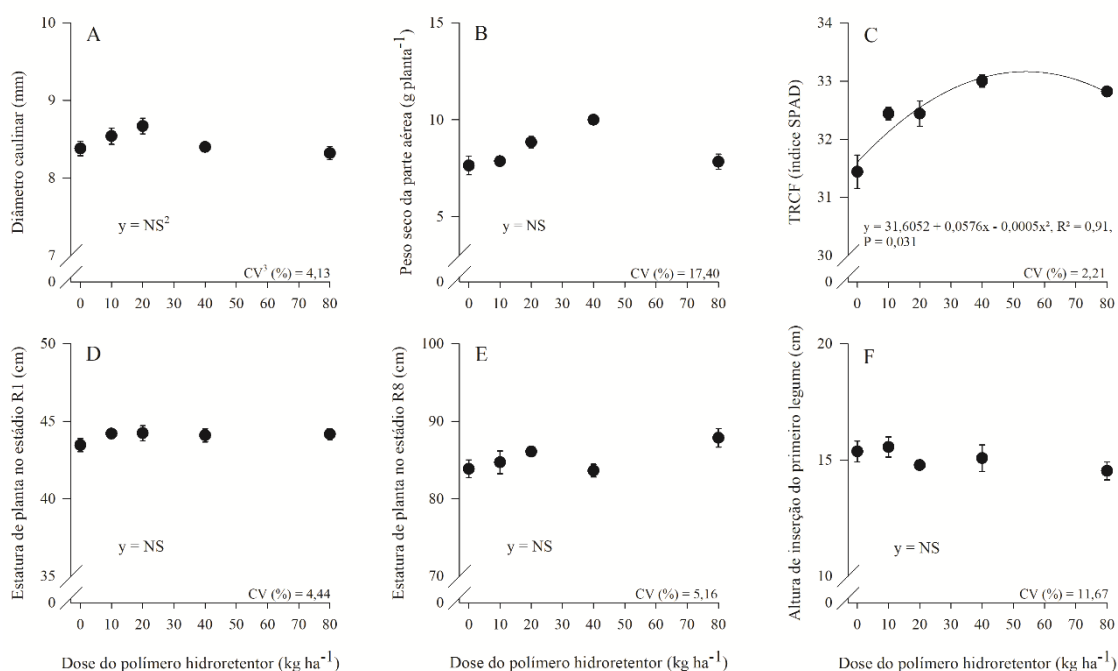


**FIGURA 6.** Números de nós por planta (A), de nós férteis por planta (B), de legumes por m<sup>2</sup> (C) e de grãos por legume (D), peso de mil grãos (E) e produtividade de grãos (F) de soja, avaliados no estágio R8<sup>1</sup>, no ano agrícola 2020/21, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura. Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.3.2.2 Experimento 2 (ano agrícola 2021/22):

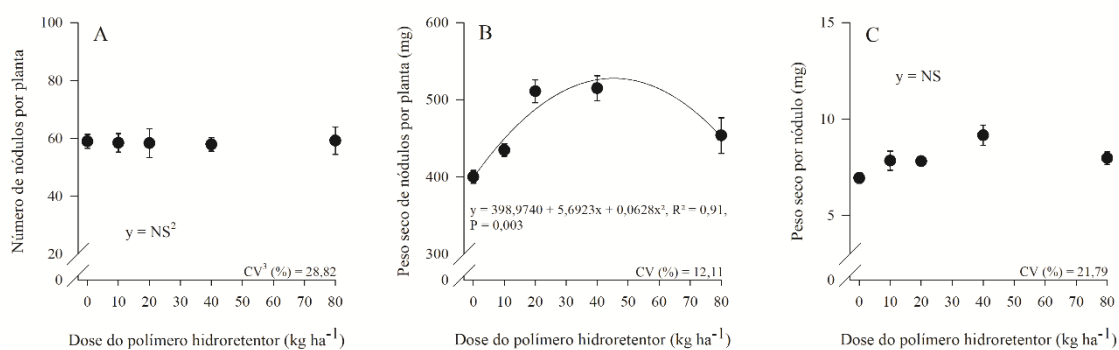
Neste ano, foi utilizada a cultivar de soja DM 66i69 RSF IPRO e o experimento foi conduzido sob condições de irrigação complementar. No estágio R1 (início do florescimento), não houve efeito da aplicação do polímero hidroretentor no diâmetro caulinar (Figura 7A), no peso seco da parte aérea por planta (Figura 7B) e na estatura de planta (Figura 7D). Neste estágio, da mesma forma que no ano anterior, somente o teor relativo de clorofila na folha (Figura 7C) respondeu à aplicação de polímero, aumentando de forma quadrática com o incremento da dose, sendo de 58 kg ha<sup>-1</sup> a dose de máxima eficiência técnica.





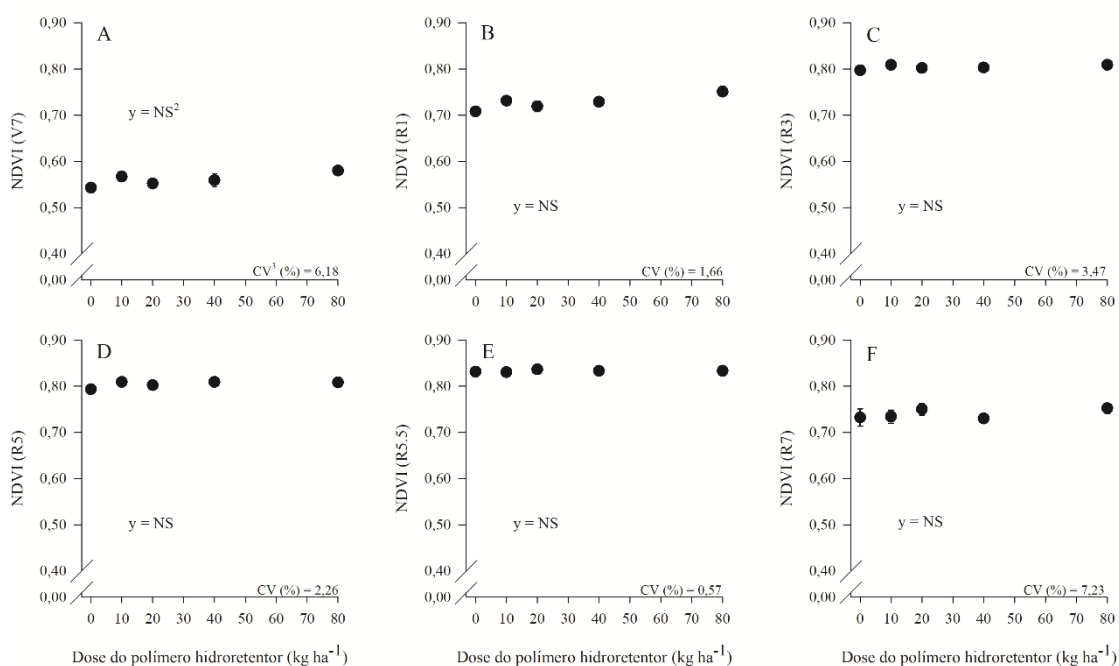
**FIGURA 7.** Diâmetro caulinar (A), peso seco da parte aérea por planta (B), teor relativo de clorofila na folha (C) e estatura de planta (D), avaliados no estágio R1<sup>1</sup>, e estatura de planta (E) e altura de inserção do primeiro legume (F), avaliadas no estágio R8, ano agrícola 2021/22, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura da soja, Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

Neste segundo ano, incluiu-se a avaliação relativa à nodulação da planta de soja. O número de nódulos por planta (Figura 8A) e o peso seco por nódulo (Figura 8C) não foram influenciados pela aplicação de polímero hidroretentor. Já o peso seco de nódulos por planta aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de polímero (Figura 8B), sendo de 45 kg ha<sup>-1</sup> a dose de máxima eficiência técnica.



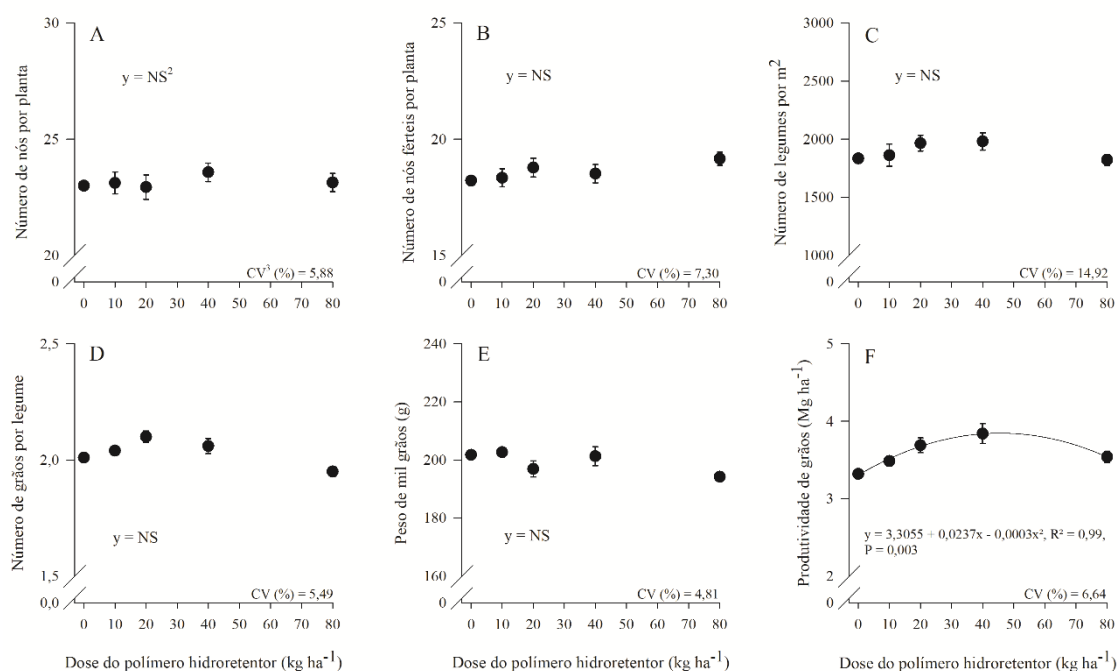
**FIGURA 8.** Número de nódulos por planta (A), peso seco de nódulos por planta (B) e peso seco por nódulo (C), avaliados no estágio R1<sup>1</sup>, ano agrícola 2021/22, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura da soja. Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão.

Similarmente ao que ocorreu no primeiro ano, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), avaliado em seis estádios de desenvolvimento da planta de soja, não variou em função de dose de polímero hidroretentor aplicada no sulco da semeadura (Figura 9).



**FIGURA 9.** Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), avaliado nos estádios V7<sup>1</sup> (A), R1 (B), R2 (C), R4 (D), R5.4 (E) e R7 (F) de desenvolvimento da soja, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura, Cachoeirinha-RS, 2021/22. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

Nas avaliações realizadas no estágio R8, as características estatura de planta (Figura 7E), altura de inserção do primeiro legume (Figura 7F), números de nós por planta (Figura 10A), de nós férteis por planta (Figura 10B), de legumes por m<sup>2</sup> (Figura 10C) e de grãos por legume (Figura 10D) e peso de mil grãos (Figura 10E) não foram influenciados pela dose de polímero, similarmente ao que ocorreu no primeiro ano. No entanto, neste segundo ano, a produtividade de grãos aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de polímero (Figura 10F), sendo de 40 kg ha<sup>-1</sup>, a dose de máxima eficiência técnica. A produtividade obtida com a dose de máxima eficiência técnica foi de 3,84 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo 16% superior ao tratamento sem aplicação de polímero. A produtividade média obtida no experimento foi de 3,57 Mg ha<sup>-1</sup>.



**FIGURA 10.** Números de nós por planta (A), de nós férteis por planta (B), de legumes por m<sup>2</sup> (C) e de grãos por legume (D), peso de mil grãos (E) e produtividade de grãos de soja (F), avaliados no estádio R8<sup>1</sup>, no ano agrícola 2021/22, em função de doses de polímero hidroretentor aplicadas no sulco de semeadura, Cachoeirinha-RS. <sup>1</sup>Conforme escala de Fehr e Caviness (1977); <sup>2</sup>Não significativo. As barras verticais representam o erro padrão; <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

## 4.4 DISCUSSÃO

### 4.4.1 Atributos físicos do solo

A porosidade total (Figura 2A) e a macroporosidade (MACP) (Figura 2B) não foram influenciadas significativamente pela aplicação do polímero ( $p < 0,05$ ). No entanto, observa-se que tanto a porosidade total ( $p = 0,06$ ) quanto a MACP ( $p = 0,06$ ), mostram tendência de aumento com o incremento da dose. Já a microporosidade (MICP) aumentou de forma linear até à dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2C). De forma diferente do resultado encontrado neste estudo, Yonezawa (2020) avaliou o efeito de concentrações de polímero hidroretentor mais altas e relatou aumento na MACP de 17%, com a dose de 0,1%,

equivalente a 2.000 kg ha<sup>-1</sup>. Já Narjary e Aggarwal (2014) também observaram aumento da MICP, que é responsável pelo armazenamento de água no solo, com o incremento da dose do polímero. De acordo com Hussien *et al.* (2012), as alterações na porosidade ocorrem porque o polímero hidrotentor aumenta os espaços porosos entre as partículas de solo, pois estas são reorientadas conforme a expansão e a contração do polímero.

A densidade do solo (DS) diminuiu linearmente com o incremento da dose de polímero hidrotentor (Figura 3A). Reduções da DS de solo em 2% e 6%, respectivamente, com as doses de 0,1% e 0,5% (que correspondem a 2.000 e 10.000 kg ha<sup>-1</sup>) deste polímero, também foram observadas por Yonezawa (2020). Essa redução na DS é atribuída ao deslocamento e à reorganização das partículas de solo que se encontram ao redor das de hidrogel, após seu entumescimento pela absorção de água. Desta forma, aumenta o volume do solo em relação à sua massa (Nada e Blumenstein, 2015; Yonezawa, 2020).

A umidade na coleta do solo (UC) não foi influenciada pela aplicação de polímero hidrotentor (Figura 3B). Isto difere dos resultados obtidos por Navroski *et al.* (2015), que relataram que a UC aumentou com o incremento da dose do polímero aplicado a um substrato comercial (Carolina Soil®), composto à base de turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK, para produção de mudas de eucalipto. No entanto, isto ocorreu com doses de 3 e 6 g L<sup>-1</sup> (correspondentes a 6.000 e a 12.000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) em comparação à testemunha sem polímero, sendo estas doses muito superiores às utilizadas no presente trabalho.

As propriedades hidrofílicas de um solo são fundamentais para sobrevivência de determinadas culturas, pois desempenham papel fundamental sobre a disponibilidade de água sob condições de estresse hídrico (Yonezawa, 2020). No presente estudo, a umidade de saturação do solo (US) aumentou linearmente com o incremento da dose de polímero hidrotentor (Figura 3C). Aumentos da US com a aplicação de polímero no solo também foram relatados por Digner *et al.*, (2019), com aumento de 8% com a dose de 1,4 g por kg<sup>-1</sup> de solo seco, e por Saha *et al.* (2020). No entanto, à medida que a textura do solo se torna mais fina, este aumento da US diminuiu gradualmente. A razão do aumento da US do solo deve-se ao fato dos espaços porosos vazios no solo serem ocupados pelo polímero com a água nele absorvida (Bian *et al.*, 2018; Rahmati *et al.*, 2019). De acordo com Fernandes (2016), em tensões abaixo de 1 kPa, ou seja, próximas à saturação, as doses de polímero de 0,5; 1,0 e 1,5 g kg<sup>-1</sup> aumentaram a umidade do solo, por retardar seu processo de secamento após a incidência de chuvas ou da realização de irrigação, disponibilizando maior quantidade de umidade para as plantas em faixas de tensão próximas à saturação. Felipe *et al.* (2016) relataram que a utilização de 3 g de polímero por litro de solo seco e destorroado aumentou a umidade volumétrica em torno de 43%, com a tensão de água no solo próxima à saturação (0,1 kPa). Mendonça *et al.* (2013), ao avaliarem doses de hidrogel em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram que as doses de 0,5 e 1 g L<sup>-1</sup> aumentaram a capacidade de armazenamento de água em 12% e 13%, respectivamente, em relação à testemunha. Para Saha *et al.* (2020), a adição do polímero hidrotentor aumentou o teor de água na capacidade de campo e,

conseqüentemente, a água disponível às plantas, sendo, no entanto, significativo somente em solo arenoso.

Em relação à água disponível no solo, nas tensões de -6kPa (Figura 3D) e -10 kPa (Figura 3 E), não houve efeito da aplicação de polímero hidroretentor. De maneira contrastante, Navroski *et al.* (2015) relataram aumento da água disponível com as doses de 3 e 6 g L<sup>-1</sup> de polímero, correspondentes a 6.000 e 12.000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, o que foi atribuído à sua hidratação com a água presente no substrato Carolina Soil®. No entanto, os resultados descritos por estes autores foram obtidos com a aplicação de doses de polímero bem superiores às avaliadas no presente estudo (10 a 80 kg ha<sup>-1</sup>).

#### **4.4.2 Nodulação, crescimento e desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de soja**

O uso de polímeros hidroretentores, que absorvem grandes quantidades de água, pode aumentar a quantidade de água disponível no solo e atrasar o início do ponto de murcha permanente, liberando água e nutrientes às plantas quando o solo no entorno das raízes começa a secar (Kumar *et al*, 2020). No presente estudo, apenas o peso seco de nódulos por planta (PSNP), no estágio R1, aumentou de forma quadrática com o incremento da dose do polímero, sendo 45 kg ha<sup>-1</sup> a dose de máxima eficiência técnica (Figura 8B). De forma similar, Ali e Abdel-Aal (2021) relataram que o uso de polímero no sulco de semeadura da soja aumentou o PSNP, devido à maior atividade da enzima nitrogenase. Este efeito é atribuído a uma possível maior absorção de

nutrientes pela planta, resultando em maior PSNP e, conseqüentemente, maior fixação biológica de nitrogênio.

Na avaliação realizada no início do florescimento (estádio R1), o teor relativo de clorofila na folha (TRCF) aumentou com a utilização de polímero hidrorretentor, nos dois anos agrícolas (Figuras 4C e 7C). Corroborando com os resultados obtidos neste estudo, El-Ashmar (2017); Ali e Abdel-Aal (2021) também relataram aumento desta característica com a aplicação de polímero em comparação à testemunha. Isto pode ser atribuído a uma possível maior disponibilidade de água na zona radicular da soja e à associação do TRCF com outras variáveis, como peso seco de nódulos por planta, que também aumentou com o uso do polímero. Vários autores já relataram que a maior disponibilidade hídrica no solo aumenta o teor de clorofila na folha da planta (El-Shafey, 2017; Huang *et al*, 2019; Liang *et al*, 2019, Sadak *et al.*, 2020; Imran *et al*, 2021).

A produtividade de grãos da cultivar BS IRGA 1642 IPRO não foi influenciada pela aplicação de polímero hidrorretentor, no primeiro ano (Figura 6F), enquanto que, no segundo ano, com a cultivar DM 66i68 RSF IPRO, quando choveu mais e foram realizadas quatro irrigações ao longo do ciclo da soja, houve aumento quadrático com o incremento da dose (Figura 10F), sendo de 40 kg ha<sup>-1</sup>, a dose de máxima eficiência técnica. De maneira similar aos resultados obtidos neste estudo, em um experimento conduzido com soja durante dois anos em condições de campo, Pereira *et al.* (2022) relataram que a aplicação da dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> do polímero não aumentou a produtividade de grãos de soja sob regimes hídricos mais restritivos (representando 30% e 50% de reposição da evapotranspiração). No entanto, no segundo ano, estes



autores observaram aumentos na produtividade de 20 a 40%, dependendo da cultivar, mas somente nos tratamentos com 83% e 100% de reposição da evapotranspiração, via irrigação suplementar. O resultado obtido no segundo ano agrícola do presente estudo indica que a resposta à aplicação do polímero é mais evidente quando a água entra em contato com o produto com maior frequência, para que este consiga absorvê-la e armazená-la. Outro aspecto importante quanto a este resultado obtido no segundo ano em relação à produtividade é que, com o custo do polímero utilizado no experimento (R\$ 25,00 kg<sup>-1</sup>) multiplicado pela dose de máxima eficiência técnica (40 kg ha<sup>-1</sup>), o custo de sua aplicação é de R\$ 1.000,00 por hectare. Considerando o preço atual por kg de soja de R\$ 2,20, o qual multiplicado pela diferença obtida pela produtividade obtida com esta dose em comparação à da testemunha (520 kg) daria um total de R\$ 1.144,00, ou seja, o custo do produto é muito próximo ao benefício observado.

As reduções observadas no TRCF, no PSNP e na produtividade de grãos nas maiores doses testadas em comparação às doses intermediárias (resposta quadrática) são atribuídas a uma possível diminuição da quantidade de oxigênio na região de aplicação do produto. De acordo com Navroski *et al.* (2015), a adição de altas doses de polímero hidrotentor aumenta a retenção de água e pode reduzir a aeração de raízes.

Em relação às demais características avaliadas (diâmetro caulinar, peso seco da parte aérea por planta, conteúdo relativo de água na folha, estatura de planta, número de nódulos por planta, peso seco por nódulo, altura de inserção do primeiro legume, índice de vegetação por diferença normalizada, números de nós por planta, de nós férteis por planta, de legumes por m<sup>2</sup> e de grãos por

legume e peso de mil grãos de soja), não houve resposta à aplicação de polímero hidrotentor, nos dois experimentos. Embora vários autores tenham relatado maior capacidade de retenção de água no solo com uso do polímero (Guilherme *et al.*, 2015; Navroski *et al.*, 2015; El-Ashmar, 2017; Kumar *et al.*, 2020), no presente estudo sua aplicação não foi suficiente para influenciar as características acima relacionadas.

Os resultados do presente estudo sugerem que houve aumento pouco expressivo na água disponível às plantas, tanto pela pequena quantidade aplicada do polímero hidrotentor em relação ao volume de solo explorado pelas raízes, quanto pelo fato do polímero ter sido aplicado num solo com predominância de partículas finas. De acordo com Saha *et al.* (2020), o efeito de polímero sobre a capacidade de retenção de água do solo é altamente dependente da fração granulométrica do solo (textura), sendo que aumentos mais significativos são esperados quando é aplicado em solos de textura grossa (arenosos) em comparação aos de textura mais fina (argilosos). De acordo com estes autores, isto ocorre porque o pequeno espaço entre os poros de um solo de textura fina restringe o intumescimento do polímero à sua capacidade total. Assim, eles consideram que a dose de aplicação de polímero hidrotentor ideal para solos de textura grossa (arenosos) é de 0,1% (equivalente a 2.000 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto que, para solo de textura fina (argilosos), a dose é de 0,2% (equivalente a 4.000 kg ha<sup>-1</sup>), sendo estas doses muito superiores às avaliadas no presente estudo (10 a 80 kg ha<sup>-1</sup>) e não viáveis economicamente para uso no cultivo da soja.

Além destes fatores, a falta de resposta à utilização do polímero hidrotentor em relação a características relacionadas ao crescimento e ao

desenvolvimento da planta nos dois anos do experimento também pode ser atribuída aos vários períodos sem chuva e/ou com chuvas de baixa intensidade, observados principalmente no primeiro ano do presente estudo, mas também no segundo ano, mesmo com o volume acumulado maior de chuvas e as quatro irrigações suplementares (Figura 1). Em relação à produtividade de grãos, o aumento quadrático observado com o uso do polímero no segundo ano, quando foram feitas quatro irrigações, indica a necessidade do produto ter contato frequente com a água para que seu efeito no solo possa ser observado. É importante também salientar que a variedade de soja utilizada no primeiro ano foi diferente da do segundo ano e que, mesmo no segundo ano, a produtividade média obtida ficou abaixo da expectativa de  $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . De acordo com Sentelhas *et al.* (2015) e Zanon, Streck e Grassini (2016), mesmo se houver acúmulo de volumes altos de precipitações durante o ciclo de desenvolvimento da soja, sua distribuição irregular é um fator limitante à obtenção de altas produtividades.

Portanto, os resultados deste estudo indicam que o possível aumento da quantidade de água absorvida pelo polímero hidretentor no sulco de semeadura da soja não foi suficiente para interferir significativamente no crescimento e no desenvolvimento da planta e na produtividade de grãos de soja cultivada em Gleissolo em um ano com deficiência hídrica e com chuvas mal distribuídas e sem o uso de irrigação suplementar. No entanto, pode ser uma alternativa para o aumento em anos com melhor distribuição de chuvas ou quando a irrigação suplementar for utilizada.

#### **4.5 Conclusões**

A utilização de polímero hidrorretentor no sulco da semeadura da soja altera atributos físicos do solo, pois reduz a densidade e aumenta a microporosidade e a umidade de saturação do Gleissolo. Estas alterações são maiores quanto maior é a dose de polímero aplicada.

O uso de polímero hidrorretentor no sulco da semeadura não é uma alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica pois, somente num ano com maiores acumulados de chuva durante o ciclo de desenvolvimento da soja, com irrigações suplementares e com a cultivar DM 66i68 RSF IPRO, seu uso aumenta a produtividade de grãos, para a qual a dose de máxima eficiência técnica é de 40 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.6 Referências:

ABRAÃO, P. C. *et al.* Influência de hidrogel em caracteres fitotécnicos da soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 54287-54303, 2020.

ALI, O. A. M.; ABDEL-AAL, M. S. M. Importance of some soil amendments on improving growth, productivity and quality of soybean grown under different irrigation intervals. **Egyptian Journal of Agronomy**, Cairo, v. 43, n. 1, p. 13-27, 2021.

ALMEIDA, D.; ANGHINONI, I. **Projeto Soja 6.000**: manejo para alta produtividade em terras baixas. 2. ed. Porto Alegre: IRGA, 2018. 96 p. (Boletim Técnico).

BIAN, X. *et al.* The role of superabsorbent polymer on strength and microstructure development in cemented dredged clay with high water content. **Polymers**, Basel, v. 10, n. 10, [art.] 1069, [p.1-16], 2018.

BODNER, G.; NAKHFOROOSH, A.; KAUL, H-P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 35, p. 401-442, 2015.

CERA, J. C. **Boletim de resultados da safra 2022/23 em terras baixas**: arroz irrigado e, soja e milho em rotação. Porto Alegre: IRGA, 2023. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202308/23105302-boletim-de-resultados.pdf>. Acesso em: 4 set. 2023.

CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

DIGNER, E. *et al.* Características físico-hídrica do solo após aplicação de hidrogel e irrigações no feijão cultivado em vaso. *In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO*, 6., 2019, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: UEPG, 2019. p. 743-746.

EL-ASMAR, J. *et al.* Hydrogel banding improves plant, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. **CLEAN: Soil, Air, Water**, Weinheim v. 45, n. 7, [art.] 1700251, [p. 1-9], 2017.

EL-SHAFFEY, A. I. Response of soybean to water stress conditions and foliar application with salicylic and ascorbic acids. **Zagazig Journal of Agricultural Research**, Zagazig v. 44, n. 1, p. 1-22, 2017.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 15 p. (Special Report, 80).

FELIPPE, D. *et al.* Efeito do hidrogel no crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 1, p. 215-225, 2016.

FERNANDES, A. C. O. **Hidrogel e retenção de água em dois solos cultivados com feijão-caupi e girassol**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo, Área de concentração: Manejo do Solo e Água) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Ciências do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

FERRARI, M. *et al.* Hidroretentores: alternativa para maior tolerância ao déficit hídrico na cultura da soja. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 3, p. 21-29. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Szareski/publication/308440797\\_Hidroretentores\\_Alternativa\\_para\\_Maior\\_Tolerancia\\_ao\\_Deficit\\_Hidrico\\_na\\_Cultura\\_da\\_Soja/links/57e466a508ae06097a0bf94e/Hidroretentores-Alternativa-para-Maior-Tolerancia-ao-Deficit-Hidrico-na-Cultura-da-Soja.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Szareski/publication/308440797_Hidroretentores_Alternativa_para_Maior_Tolerancia_ao_Deficit_Hidrico_na_Cultura_da_Soja/links/57e466a508ae06097a0bf94e/Hidroretentores-Alternativa-para-Maior-Tolerancia-ao-Deficit-Hidrico-na-Cultura-da-Soja.pdf). Acesso em: 4 set. 2023.

FIDELIS, R. R. *et al.* Influência do uso do hidrogel no cultivo da soja sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 5, p. 1219-1224, 2018.

GUILHERME, M. R. *et al.* Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review. **European Polymer Journal**, Oxford, v. 72, n. 1, p. 365-385, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/172035/2-s2.0-84940575223.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 ago. 2023.

- HUANG, B. *et al.* Exogenous melatonin alleviates oxidative damages and protects photosystem II in maize seedlings under drought stress. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, [art.] 677, [p. 1-16], 2019.
- HUSSEIN, R. A. *et al.* Studying some hydro-physical properties of two soils amended with kaolinite-modified cross-linked poly-acrylamides. **Catena**, Cremlingen, v. 92, p. 172-178, 2012.
- IMRAN, M. *et al.* Exogenous melatonin induces drought stress tolerance by promoting plant growth and antioxidant defence system of soybean plants. **AoB Plants**, Oxford, v. 13, n. 4, [art.] plab026, 2021.
- KLEIN, V. A. *et al.* Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: UPF, 2014.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. 1 mapa, p&b, wall-map 150cm x 200cm.
- KUINCHTNER, A; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.
- KUMAR, R. *et al.* Hydrogel and its effect on soil moisture status and plant growth: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 9, n. 3, p. 1746-1753, 2020.
- LIANG, D. *et al.* Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 246, p. 34-43, 2019.
- MENDONÇA, T. G. *et al.* Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, p. 87-92, 2013.
- NADA, W. M.; BLUMENSTEIN, O. Characterization and impact of newly synthesized superabsorbent hydrogel nanocomposite on water retention characteristics of sandy soil and grass seedling growth. **International Journal of Soil Science**, Hanover, v. 10, p. 153-165, 2015.
- NARJARY, B.; AGGARWAL, P. Evaluation of soil physical quality under amendments and hydrogel applications in a soybean–wheat cropping system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 45, n. 9, p. 1167-1180, 2014.

NAVROSKI, M. C. *et al.* Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 467-476, 2015.

PELEGRIN, A. J. *et al.* Polímeros hidroretentores na cultura da soja em condições de solo argiloso na região norte do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 175-182, 2017.

PEREIRA, L. F. *et al.* The impact of polymer on the productivity and photosynthesis of soybean under different water levels. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 11, [art.] 2657, 2022.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

RAHMATI, M. *et al.* Water retention and pore size distribution of a biopolymeric-amended loam soil. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2019.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 42., 2018, Três de Maio. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2018/2019 e 2019/2020**. Três de Maio: SETREM, 2019. 125 p.

SADAK, M. S. *et al.* Role of melatonin in improving growth, yield quantity and quality of *Moringa oleifera* L. plant under drought stress. **Bulletin of the National Research Centre**, Berlin, v. 44, n. 1, p. 1-13, 2020.

SAHA, A.; SEKHARAN, S.; MANNA, U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 204, [art.] 104736, 2020.

SALVADOR, V. *et al.* Genetic analysis of relative water content (RWC) in two recombinant inbred line populations of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Plant Genetics, Genomics, and Biotechnology**, Fayetteville, v. 1, n. 2, p. 46-53, 2012.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SEKHARAN, S. *et al.* Sustainable geotechnics: a bio-geotechnical perspective. In: GALI, M. L. (ed.). **Frontiers in geotechnical engineering**. Singapore: Springer, 2019. p. 313-331.

SENTELHAS, P. C. *et al.* The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015.

TAVARES, V. E. Q. **Sistemas de irrigação e manejo de água na produção de sementes**. 2007. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. amp. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

UHRY JUNIOR, D. F.; BADINELLI, P. G.; MARCHESAN, E. **Compactação do solo**: um dos grandes desafios para o cultivo da soja em terras baixas. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2020. 8 p. (Circular Técnica, 005). Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202003/16154450-circular-tecnica-005-8.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

WINCK, J. E. M. **Lacunas de produtividade em soja no Rio Grande do Sul e caracterização fisiológica de genótipos com tolerância a déficit hídrico**. 2022. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

YONEZAWA, U. G. **Desenvolvimento de nanocompósitos híbridos baseados em hidrogéis e sua aplicação em mudas de cafeeiro transplantadas em solo**. 2020. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2020.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 4, p. 1447-1454, 2016.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos dois experimentos conduzidos em casa de vegetação indicam que o uso do polímero hidroretentor favorece o estabelecimento, a nodulação e o desenvolvimento das plantas de soja. Porém, as diferenças observadas são mais evidentes quanto menor é o intervalo entre as irrigações realizadas, ou seja, quando a água é disponibilizada com maior frequência. Isto indica que há a necessidade do polímero ter água livre no solo para absorvê-la e armazená-la. No entanto, há que se considerar que, em casa de vegetação, mesmo com o sistema de resfriamento, as temperaturas ficam mais altas durante o dia e, com o volume limitado de solo nos baldes e a ventilação forçada, a perda da água do solo por evapotranspiração ocorre de forma mais intensa do que na condição de campo, onde os intervalos mais adequados entre as irrigações podem ser diferentes dos obtidos nestes estudos sob condições controladas.

O experimento conduzido a campo, no primeiro ano, indicou que a utilização de polímero hidroretentor no sulco de semeadura da soja melhora alguns atributos físicos do solo relacionados à capacidade de armazenamento de água, sendo estas alterações maiores com o incremento da dose. Os dois experimentos de campo mostraram que o uso do polímero aumenta o teor relativo de clorofila na folha, independentemente da utilização ou não de

irrigação suplementar e de cultivar. No entanto, o uso do polímero só aumenta a produtividade de grãos da soja quando há maiores acumulados de chuva durante seu ciclo de desenvolvimento e com a realização de irrigações suplementares e a cultivar DM 66i68 RSF IPRO.

Os resultados obtidos em relação ao crescimento e ao desenvolvimento da planta e à produtividade de grãos de soja indicaram aumento pouco expressivo na quantidade de água disponível no solo às plantas, tanto pelas pequenas doses aplicadas do polímero, em relação ao volume de solo explorado pelas raízes, quanto pelo fato de que o polímero foi utilizado num solo com predominância de partículas finas, representativo dos solos de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul (RS). Esta classe de solo possui granulometria que promove pressão aos grânulos do polímero hidrotentor, restringindo o seu intumescimento à sua capacidade total. Desta forma, para haver incrementos no desenvolvimento e na produtividade de grãos de soja cultivada em Gleissolo com a utilização do polímero hidrotentor no sulco de semeadura, há a necessidade de que a água seja disponibilizada com maior frequência. Portanto, o polímero hidrotentor aplicado no sulco de semeadura não é uma ferramenta eficiente para mitigar os efeitos da deficiência hídrica em soja cultivada em Gleissolo, em terras baixas do estado do RS.