

**JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES**

**DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E COM APLICAÇÃO DE  
HIDROGEL AO SOLO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**Botucatu**

**2023**



**JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES**

**DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E COM APLICAÇÃO DE  
HIDROGEL AO SOLO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Coorientador: João Leonardo Fernandes Pires

**Botucatu**

**2023**

M188d

Magalhães, José Wilson de Oliveira

Desempenho do trigo sob restrição hídrica e com aplicação de hidrogel ao solo em ambiente protegido / José Wilson de Oliveira Magalhães. -- Botucatu, 2023

88 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Coorientador: João Leonardo Fernandes Pires

1. Triticum spp. 2. gotejamento. 3. déficit hídrico. 4. massa seca. 5. rendimento de grãos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E COM APLICAÇÃO DE HIDROGEL AO SOLO EM AMBIENTE PROTEGIDO

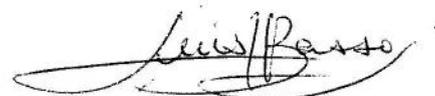
**AUTOR: JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES**

**ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI**

**COORIENTADOR: JOÃO LEONARDO FERNANDES PIRES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Pesquisador Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI (Participação Virtual)  
Embrapa Instrumentação / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



p/ Prof. Dr. ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA (Participação Virtual)  
Engenharia Agrícola / Universidade Federal do Ceará



p/ Prof.ª Dr.ª PATRICIA ANGELICA ALVES MARQUES (Participação Virtual)  
Engenharia de Biosistemas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz



Botucatu, 28 de julho de 2023



*À minha família,  
Tia Cremilda Braga Tavares (in memoriam)  
e amigos.  
dedico*



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por iluminar meus caminhos.

À minha família que sempre me apoiou e motivou a buscar o melhor para minha vida, mesmo longe de casa continuaram me apoiando.

Ao Prof. Dr. Luís Henrique Baasoi, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professor e orientador.

Ao Dr. João Leonardo Fernandes Pires pela coorientação e cooperação à pesquisa.

A todos os professores e funcionários da FCA.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo fomento do projeto de pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Embrapa em nome de seus pesquisadores, pelo apoio a pesquisa e a infraestrutura cedida por todo o trabalho.

À Cristina Martini e Rafaela Rodrigues que me receberam muito bem em Botucatu-SP.

Aos amigos da República Alcatraz que me receberam muito bem em São Carlos.

Aos bolsistas e estagiários da Embrapa: Gabriel, Mariana, Victor e Augusto pela colaboração durante os experimentos.

Aos professores da Universidade Federal do Ceará, Alexssandro e Raimundo Nonato que mesmo egresso da UFC, continuaram colaborando comigo e com pesquisas.

A Jéssica Aragão que sempre me apoiou durante toda a jornada.



“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota”.

ROOSEVELT, Theodore. **The Great Adventure: present-day studies in American nationalism**. London: J. Murray, 1919. p. 220.



## RESUMO

O déficit hídrico pode prejudicar o desempenho das culturas, e de forma agravante se ocorrer em estádios fenológicos críticos principalmente à restrição de água às plantas. Cultivos em sequeiro são os mais afetados pois são susceptíveis às irregularidades e insuficiência das chuvas ou aos veranicos. Mesmo os cultivos irrigados podem ter danos devido à limitação temporária de água, ao elevado custo operacional da irrigação e a não priorização do uso da água para a agricultura. O uso do hidrogel pode ser uma alternativa para minimizar os efeitos do déficit hídrico às culturas, pois permite um aumento no armazenamento de água no solo e a liberação lenta dessa água às plantas. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a aplicação de hidrogel ao solo em cultivo de trigo sob irrigação por gotejamento em casa de vegetação. Especificamente, os objetivos foram analisar a dinâmica da água no solo mediante a adição de doses de hidrogel ao solo e avaliar o rendimento de duas cultivares de trigo a essas doses do insumo sob alta e baixa disponibilidade de água no solo. Um primeiro experimento foi conduzido no período de 30 de agosto a 13 de setembro de 2022 no Laboratório de Física e Química Ambiental da Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP, para avaliar somente o comportamento do hidrogel no solo. Anéis cilíndricos de PVC, com a face superior envolvida com filme transparente para evitar a perda de solo após sua expansão, e com a face inferior tampada com filtro de papel e tecido, foram colocados por 24 horas em contato com a água para a ascensão por capilaridade e umedecimento da amostra. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com tratamentos primários constituídos por três densidades de solo (1,1, 1,2 e 1,3 kg dm<sup>-3</sup>) e tratamentos secundários por quatro doses de hidrogel (0, 1, 3 e 5 g L<sup>-1</sup> de solo) em quatro repetições. As amostras com doses de 1 g L<sup>-1</sup> e 3 g L<sup>-1</sup> apresentaram aumento da umidade do solo e da retenção de água. As amostras com dosagem 5 g L<sup>-1</sup> tiveram o maior aumento de volume do solo e a maior taxa de perda de umidade diária. O segundo experimento com o cultivo do trigo foi conduzido no período de 13 de outubro de 2022 a 16 de janeiro de 2023 em casa de vegetação do Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (LANAPRE), Embrapa Instrumentação. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições, tendo como fatores o manejo de irrigação (irrigação plena e irrigação com déficit hídrico) e a dose de hidrogel (0, 1, 3 e 5 g L<sup>-1</sup> de solo). Foram semeadas duas cultivares de trigo (BRS 394 e BRS 264) e fatores morfológicos e de produção foram avaliados em cada cultivar. A BRS 394 obteve melhores respostas, tendo médias superiores na massa seca de grãos por espiga, índice de colheita e número de espiguetas férteis, com médias de 0,98 g, 35,56% e 88,26% respectivamente, para o tratamento em irrigação com déficit, com a dose de hidrogel de 1 g L<sup>-1</sup> de solo. A cultivar BRS 264 apresentou efeitos negativos com o aumento da dose de hidrogel sob o manejo de irrigação plena. A irrigação com déficit não demonstrou diferença com o aumento da dosagem para esta cultivar.

**Palavras-chave:** *Triticum spp*; gotejamento; déficit hídrico; massa seca; rendimento de grãos.

## ABSTRACT

Water deficit can reduce crop yields and it can be more severe if it occurs during critical development stages regarding water restriction to the plants. Rainfed crops are the most affected since they are susceptible to irregularity or insufficiency of rainfalls or dry spells. Even irrigated crops can be damaged due to temporary water restriction, high irrigation operational cost and the no prioritization of water use for agriculture. The use of hydrogel can be an alternative to minimize the effects of water deficit in crops, since it allows an increase in soil water storage and its slow release to the plants. Thus, the general objective of this work was to evaluate the application of hydrogel to the soil in wheat cultivation under drip irrigation in a greenhouse. Specifically, the objectives were to analyze the soil water dynamics through the addition of hydrogel doses to the soil and to evaluate the yield of two wheat cultivars under these doses and under high and low soil water availability. A first experiment was carried out from August 30 to September 13, 2022 at the Environmental Physics and Chemistry Laboratory of Embrapa Instrumentation, in São Carlos, state of São Paulo, Brazil, to evaluate in separate the hydrogel behavior in the soil. Cylindrical PVC rings, with the upper face wrapped with transparent film to prevent the loss of soil after its expansion, and with the lower face covered with a paper and fabric filter, were placed in contact with water for 24 hours to allow it to rise by capillarity and sample wetting. A completely randomized design was used in a factorial scheme, with primary treatments consisting of three soil densities (1.1, 1.2 and 1.3 kg dm<sup>-3</sup>) and secondary treatments with four rates of hydrogel (0, 1, 3 and 5 g L<sup>-1</sup> of soil) in four repetitions. Samples with rates of 1 g L<sup>-1</sup> and 3 g L<sup>-1</sup> presented increased soil moisture and water retention. Samples with a dose of 5 g L<sup>-1</sup> had the highest increasing in soil volume and the highest rate of daily moisture loss. The second experiment with wheat cultivation was carried out from October 13, 2022 to January 16, 2023 in a greenhouse at the National Reference Laboratory in Precision Agriculture (LANAPRE), Embrapa Instrumentation. A completely randomized design was used in a 2 x 4 factorial scheme, with four replications, and the factors were irrigation management (full irrigation and irrigation with water deficit) and rate of hydrogel (0, 1, 3 and 5 g L<sup>-1</sup> of soil). Morphological and production factors of two wheat cultivars (BRS 394 and BRS 264) were evaluated. BRS 394 obtained better responses, with higher averages for dry mass of grains per ear, harvest index and number of fertile spikelets, with averages of 0.98 g, 35.56% and

88.26% respectively, in deficit irrigation management, with a hydrogel dose of 1 g L<sup>-1</sup> of soil. Cultivar BRS 264 showed negative effects with increasing hydrogel rate under full irrigation management. Deficit irrigation showed no difference with increasing rate for this cultivar.

**Keywords:** *Triticum spp*; drip irrigation; water deficit; dry matter; grain yield.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Capítulo 1 – AVALIAÇÃO DO USO DE HIDROGEL PARA A RETENÇÃO DE UMIDADE EM SOLO COM DIFERENTES DENSIDADES

- Figura 1 - Anéis cilíndricos em contato com água para umedecimento do solo.....32
- Figura 2 - Amostras de solo com densidade de 1,1 kg dm<sup>-3</sup> (A), 1,2 kg dm<sup>-3</sup> (B) e 1,3 kg dm<sup>-3</sup> (C), após 24 horas em contato com a água para o seu umedecimento.....37
- Figura 3 - Redução da umidade do solo com densidade 1,1 kg dm<sup>-3</sup> (A), 1,2 kg dm<sup>-3</sup> (B) e 1,3 kg dm<sup>-3</sup> (C), em função das doses de hidrogel (testemunha – T, 1 g L<sup>-1</sup> – H1, 3 g L<sup>-1</sup> – H2 e 5 g L<sup>-1</sup> - H3).....40
- Figura 4 - Incremento das doses de hidrogel à umidade do solo (A) e umidade residual (B).....42

### Capítulo 2 – DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E COM APLICAÇÃO DE HIDROGEL

- Figura 5 - Coleta de dados de umidade do solo com o HydroSense II.....55
- Figura 6 - Croqui do experimento na casa de vegetação.....56
- Figura 7 - Plantas no estágio do surgimento da folha bandeira.....57
- Figura 8 - (A) Captura de imagens térmicas com câmera termográfica; (B) Coleta de dados de abertura estomática; (C) Colheita, identificação e separação do material; (D) Material em estufa de circulação.....59
- Figura 9 - Temperatura média e umidade relativa do ar na casa de vegetação utilizada para realização do experimento com aplicação de doses de hidrogel em cultivares de trigo sob diferentes manejos de irrigação.....61
- Figura 10 - Umidade do solo durante o ciclo da cultura nos tratamentos de doses de hidrogel e irrigação plena (a) e irrigação com déficit (b), da cultivar de trigo BRS 394.....62
- Figura 11 - Umidade do solo durante o ciclo da cultura nos tratamentos de doses de hidrogel e irrigação plena (a) e irrigação com déficit (b), da cultivar de trigo BRS 264.....63
- Figura 12 - (A) Médias da abertura estomática BRS 394; (B) Médias da

temperatura média da planta BRS 394.....	65
Figura 13 – (A) Médias da abertura estomática BRS 264; (B) Médias da temperatura média da planta BRS 264.....	65
Figura 14 - Imagem térmica capturada por meio de uma câmera termográfica.....	66
Figura 15 - Número de perfilhos para a cultivar BRS 394 em função das doses de hidrogel.....	71
Figura 16 - Índice de colheita (%) para as cultivares BRS 394 (A) e BRS 264 (B).....	72
Figura 17 - Altura da planta (cm) para as cultivares BRS 394 (A) e BRS 264 (B).....	74
Figura 18 - Massa seca total da parte aérea (A), massa seca de grãos por planta (B) e massa de 1000 grãos (C) para a cultivar BRS 264.....	76
Figura 19 - Desuniformidade de estádios de desenvolvimento da planta de trigo.....	78
Figura 20 - Comportamento do hidrogel após o umedecimento do solo, com visível intumescimento do insumo (indicado pela seta vermelha) nas doses de 3 e 5 g L <sup>-1</sup> .....	79

## LISTA DE TABELAS

### **Capítulo 1 – AVALIAÇÃO DO USO DE HIDROGEL PARA A RETENÇÃO DE UMIDADE EM SOLO COM DIFERENTES DENSIDADES**

Tabela 1 – Análise de variância da umidade do solo (%) em função dos fatores densidade do solo e dose do hidrogel.....	33
Tabela 2 – Umidade média do solo em % em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel.....	34
Tabela 3 – Análise de variância da expansão do volume de solo (%) em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel.....	35
Tabela 4 – Expansão do volume do solo em % em função dos fatores de densidade do solo e doses de hidrogel.....	36
Tabela 5 – Perda diária de umidade do solo em % em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel.....	38
Tabela 6 – Umidade residual do solo em % em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel.....	41

### **Capítulo 2 – DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HIDRICA E COM APLICAÇÃO DE HIDROGEL**

Tabela 7 – Atributos químicos do solo utilizado no experimento.....	54
Tabela 8 – Número de dias para cada estágio de desenvolvimento das cultivares.....	60
Tabela 9 – Lâmina de irrigação (mm) aplicada e manejo de irrigação realizado em cada cultivar de trigo.....	60
Tabela 10 – Análise de variância da abertura estomática, temperatura média da planta e índice de clorofila total para a cultivar BRS394.....	64
Tabela 11 – Análise de variância da abertura estomática, temperatura média da planta e índice de clorofila total para a cultivar BRS264.....	64
Tabela 12 – Análise de variância dos fatores de produção e morfológicos para a cultivar BRS 394.....	68
Tabela 13 – Análise de variância dos fatores de produção e morfológicos para a cultivar BRS 264.....	69
Tabela 14 – Massa seca de grãos por espiga (g) para as cultivares BRS 394	

e BRS 264.....70

Tabela 15 – Espiguetas férteis (%) para as cultivares BRS 394

e BRS 264.....73

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DO USO DO HIDROGEL PARA A RETENÇÃO DE UMIDADE EM SOLO COM DIFERENTES DENSIDADES.....</b>	<b>23</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	24
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	25
1.2.1 Armazenamento de água no solo.....	25
1.2.2 Condicionadores de solo.....	26
1.2.3 Hidrogel.....	27
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
1.3.1 Local do experimento.....	29
1.3.2 Propriedades do solo.....	29
1.3.3 Preparo das amostras.....	30
1.3.4 Tratamentos e arranjo experimental.....	30
1.3.5 Determinação da massa das amostras.....	30
1.3.6 Análise dos dados.....	32
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
1.5 CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS.....	43
<b>CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E COM APLICAÇÃO DE HIDROGEL.....</b>	<b>46</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	48
2.2.1 Restrição hídrica na agricultura.....	48
2.2.2 Uso de hidrogel para retenção de água no solo.....	49
2.2.3 Cultura do trigo.....	51
2.2.3 Déficit hídrico no trigo.....	52
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.3.1 Local do experimento.....	53
2.3.2 Preparo dos vasos.....	53
2.3.3 Características físico-químicas do solo.....	53

2.3.4	Correção de pH e adubação.....	54
2.3.5	Sistema de irrigação.....	54
2.3.6	Tratamentos do experimento.....	55
2.3.7	Irrigação com déficit.....	57
2.3.7	Coleta de dados e colheita.....	57
2.3.8	Tratamento dos dados.....	60
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
2.5	CONCLUSÕES.....	80
	REFERÊNCIAS.....	81
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O trigo é um dos cereais mais produzidos no mundo (ARENHARDT et al., 2015; BREZOLIN et al., 2017). O Brasil, na safra de 2022/2023, estima produzir 9,5 milhões de toneladas, uma redução de 9,4% quando comparado ao que se estimava no início da safra. Essa redução foi causada pelas condições climáticas adversas e os baixos preços pagos pelo cereal aos produtores. A demanda interna do país é de 15 milhões de toneladas, necessitando importar 5,6 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

A falta de água na cultura do trigo causa a abscisão das flores, impede a antese, afeta a massa de grãos e conseqüentemente a produção (FAGERIA et al., 2014; JÚNIOR et al., 2018; DA SILVA et al., 2021). Como alternativas para amenizar esse déficit e principalmente a irregularidade da distribuição de chuvas, moléculas com capacidade de retenção de água estão sendo estudadas desde a década de 1970 (SAMPAT, 1973; KRAISIG et al., 2018).

O uso do hidrogel de biopolímero pode representar uma tecnologia para regular a disponibilidade de água no solo às lavouras, o que pode favorecer a eficiência da absorção de nutrientes e melhorar o rendimento (Azevedo et al., 2002; Mendonça et al., 2013). Hidrogel é uma rede polimérica tridimensional biodegradável que retém água em sua estrutura, formando um gel, que é capaz de hidratar e liberar água ao longo do tempo (Kaewpirom & Boonsang, 2006; Venturoli & Venturoli, 2011).

O hidrogel utilizado neste trabalho foi fornecido pela empresa Fertgel, e é um hidrogel nanocompósito desenvolvido em parceria com a Embrapa Instrumentação. O hidrogel é sintetizado a base de poli(acrilamida) modificada com altos teores de argilominerais e polissacarídeos, formando polímero atóxico. O hidrogel utilizado se diferencia dos hidrogéis comerciais por ter 20% de potássio em sua estrutura e é capaz de absorver até 500 gramas de água por grama de hidrogel seco entre seus ciclos de absorção de água. A presença de argilomineral melhora a capacidade do hidrogel em interagir com nutrientes do solo e pode ser utilizado para liberação controlada de insumos agrícolas (BORTOLIN et al., 2016).

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a aplicação de hidrogel ao solo em cultivo de trigo em casa de vegetação e sob irrigação por gotejamento. Especificamente, os objetivos foram analisar a dinâmica da água no solo mediante a

adição de doses de hidrogel ao solo e avaliar o rendimento de duas cultivares de trigo a essas doses do insumo sob alta e baixa disponibilidade de água no solo.

## CAPÍTULO 1

### **AVALIAÇÃO DO USO DE HIDROGEL PARA A RETENÇÃO DE UMIDADE EM SOLO COM DIFERENTES DENSIDADES**

**JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES; CARLOS MANOEL PEDRO VAZ;  
LUÍS HENRIQUE BASSOI**

#### **RESUMO**

Polímeros podem ter a capacidade absorver água e liberá-la gradualmente, tornando útil sua aplicação na agricultura. Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar as respostas de umidade e retenção da água do solo à densidade de solo e dose de polímeros hidrorretentores (hidrogel). O objetivo foi analisar a dinâmica da água no solo mediante a adição de doses de hidrogel ao solo. O estudo foi conduzido no período de 30 de agosto a 13 de setembro de 2022 no Laboratório de Física e Química Ambiental da Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP. Anéis cilíndricos de PVC, com a face superior tampadas com filme transparente para evitar a perda de solo pela expansão do solo, e com a face inferior tampada com filtro de papel e tecido, foram colocados por 24 horas em contato com a água para ascensão por capilaridade e umedecimento da amostra. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com tratamentos primários constituídos por quatro doses de hidrogel (0, 1, 3 e 5 g L<sup>-1</sup> de solo) e tratamentos secundários por três densidades de solo (1,1, 1,2 e 1,3 kg dm<sup>-3</sup>), em 4 repetições. As amostras com doses de 1 g L<sup>-1</sup> e 3 g L<sup>-1</sup> apresentaram aumento da umidade do solo e retenção da água. As amostras com dosagem 5 g L<sup>-1</sup> tiveram a maior expansão do solo e a maior taxa diária de redução de umidade do solo.

**Palavras-chave:** Água no solo, armazenamento, polímero.

#### **ABSTRACT**

Polymers may have the ability to absorb water and gradually release it, making their application useful in agriculture. Thus, this research aimed to analyze the responses of soil moisture and water retention to soil density and dosage of hydroretentive polymers (hydrogel). The objective was to analyze the soil water dynamics through the addition of hydrogel doses to the soil. The study was monitored from August 30 to September 13, 2022 at the Environmental Physics and Chemistry Laboratory of Embrapa Instrumentação, in São Carlos-SP. Cylindrical PVC rings, with an upper face

covered with a transparent film to prevent soil loss due to soil expansion, and with a lower face covered with a paper and fabric filter, were placed for 24 hours in contact with water to rise through capillarity and wetting of the sample. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme, with primary treatments consisting of four doses of hydrogel (0, 1, 3 and 5 g L<sup>-1</sup> of soil) and secondary treatments using three soil densities (1,1, 1, 2 and 1.3 kg dm<sup>-3</sup>), in 4 repetitions. As a sample with doses of 1 g L<sup>-1</sup> and 3 g L<sup>-1</sup> showed an increase in soil moisture and water retention. Samples dosed with 5 g L<sup>-1</sup> had the highest soil expansion and the highest daily rate of soil moisture reduction.

**Keywords:** Soil water, storage, polymer.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A percepção humana sobre a falta de água, principalmente, em relação àquela destinada à agricultura é atribuída geralmente a regiões semiáridas e áridas. Com o tempo, tal situação tem sido mudada por conta de situações que ocorrerem a redução temporária da disponibilidade de água em regiões com elevada precipitação pluvial e boa distribuição durante todo o ano (BASSOI, 2020).

Nestes acontecimentos, a restrição do uso da água chamou a atenção da população no geral em relação ao seu uso pela agricultura irrigada. Levando a constantes debates a respeito do uso desse recurso natural para a agricultura, principalmente, a irrigada, a ponto de se questionar sobre a importância do uso da água para este fim, em relação aos demais setores dependentes desse recurso, como residências, prestadores de serviço e indústrias.

A busca por técnicas alternativas que otimizassem a produção com finalidade de melhorar a produtividade e redução de custos, foi o que tem estimulado pesquisadores. Neste contexto, os polímeros hidrorretentores se apresentam como alternativa, com a capacidade de regular a disponibilidade de água para as culturas, aumentar a produtividade local e reduzir custos de produção (MENDONÇA et al., 2013).

Os polímeros hidrorretentores funcionam como uma opção em situações que há ocorrência de estresse hídrico, em baixa disponibilidade de água no solo ou em longos

períodos de estiagem, de forma que a baixa umidade do solo afetará diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas (AZEVEDO et al., 2002).

A utilização do hidrogel tem como objetivo aumentar a capacidade de armazenamento de água do solo ou substrato, podendo assim minimizar os problemas causados pela disponibilidade irregular e deficitária de água. O polímero tem o potencial de absorver água de 150 a 400 vezes a sua massa seca (MARQUES et al., 2013).

Quando adicionado à substrato, o hidrogel contribui na retenção de água, melhorando atributos envolvidos no armazenamento e disponibilidade de água às plantas (NAVROSKI et al., 2016).

Em função do exposto, o estudo teve como objetivo analisar respostas da umidade e absorção da água do solo aos fatores densidade do solo e dose de hidrogel.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo é um fator essencial para o ciclo hidrológico, desempenhando um papel crítico na disponibilidade de água para o ecossistema terrestres e aquáticos (RAWLS et al., 2017). A capacidade do solo reter água é influenciada por diversos fatores, como exemplo, textura do solo, estrutura e cobertura vegetal. A textura do solo tem um impacto direto na retenção de água, pois refere-se à proporção de areia, silte e argila presentes no solo (DEXTER et al., 1987). Um maior teor de argila em solos tende a reter mais água, enquanto solos arenosos tem menor capacidade de retenção de água (RAWLS et al., 2017).

A estrutura do solo desempenha um papel crucial na retenção de água (KOCH et al., 2020). A organização de partículas na formação de macro e microporos afeta a capacidade do solo reter água. Pesquisas recentes destacam as mudanças na estrutura do solo afetam o armazenamento de água (KOCH et al., 2020). A cobertura vegetal também é fundamental no armazenamento de água no solo, de forma que as raízes das plantas ao penetrarem no solo, criam poros e permitindo uma melhor distribuição da água da chuva (MOHANTY et al., 2007).

Além destes fatores já mencionados, existem elementos que influenciam o armazenamento de água no solo. A quantidade de matéria orgânica no solo é um fator, tendo em vista que a matéria orgânica atuará diretamente como incremento ao solo na capacidade de reter água (RAWLS et al., 2017). A densidade aparente e a compactação do solo afetam a capacidade de retenção de água no solo (DEXTER, 1987). De tal forma que solos compactados podem ter menos espaços porosos que seriam preenchidos com água.

A água armazenada no solo é fundamental para o desenvolvimento das plantas, uma vez que as raízes retiram a água do solo. Tal disponibilidade de água afeta diretamente o crescimento e a produtividade das plantas (DEXTER, 1987). Indo além disso, o armazenamento de água no solo tem papel importante na recarga de aquíferos subterrâneos, principais fontes de água potável vitais (RAWLS et al., 2017).

Recentes pesquisas têm destacado a importância do armazenamento de água no solo diante todas as mudanças climáticas (HALLEMA et al., 2018). As frequentes alterações nos padrões de precipitação e o aumento das temperaturas afetam a quantidade de água disponível no solo. Toda a ecofisiologia envolvida nas interações entre o solo, planta e atmosfera é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos e dos ecossistemas (HALLEMA et al., 2018).

A gestão adequada do armazenamento de água no solo é crucial para a prevenção de inundações e secas (KOCH et al., 2020). Práticas de manejo do solo inadequadas podem resultar em enxurradas e arrasto de solo com a água escoando superficialmente sem conseguir infiltrar no solo, levando a inundações. Por outro lado, a falta de água armazenada no solo pode resultar em secas e escassez hídrica para a agricultura e demais fins (RAWLS et al., 2017).

### 1.2.2 Condicionadores de solo

Os condicionadores de solo desempenham um papel fundamental na melhoria dos atributos físicos e químicos do solo no objetivo de uma agricultura sustentável (LAL et al., 2015). Estes condicionadores incluem materiais orgânicos inorgânicos que têm a capacidade de melhorar a retenção de água e estrutura do solo (LAL et al., 2015).

As pesquisas recentemente desenvolvidas enfatizam a importância dos condicionantes de solo na retenção de água e na melhora da estrutura do solo (HOBBS et al., 2017). Esses materiais orgânicos não apenas aumentam a capacidade

de água no solo, mas também promovem a atividade microbiana benéfica, contribuindo para a qualidade geral do solo (BALDOCK et al., 2017).

Estudos mostram que o uso de resíduos orgânicos, como esterco e compostos, como condicionadores de solo é altamente eficaz (BALDOCK et al., 2017). A matéria orgânica do solo é um componente crítico na formação de agregados, o que melhora a porosidade do solo, permitindo uma melhor penetração de água (HOBBS et al., 2017).

Além disso, os condicionadores de solo têm o potencial de reduzir a erosão do solo (HOBBS et al., 2017). Melhorando a estrutura do solo e aumentando a retenção de água, eles podem reduzir a perda de solo às chuvas intensas e ventos fortes, contribuindo para a conservação de terras agrícolas (LAL, 2015).

A melhoria destes atributos do solo é vital para a agricultura sustentável e a segurança alimentar global (BALDOCK et al., 2017). Os condicionadores de solo desempenham um papel importante na conservação de recursos hídricos, redução da erosão e mitigação das mudanças climáticas (LAL et al., 2015).

De tal forma, os condicionadores de solo são componentes essenciais da agricultura sustentável e da gestão dos recursos hídricos. A compreensão de sua importância e de suas interações com o solo é fundamental na promoção de práticas agrícolas mais eficazes, que atendam a necessidade da agricultura e da conservação ambiental (KOCH et al., 2020).

### 1.2.3 Hidrogel

Hidrorretentores ou hidrogéis são materiais formados a partir de redes poliméricas estruturadas tridimensionalmente, que para determinadas condições tem a capacidade de absorver água, ou soluções específicas (CAMPESE et al., 2007). Tendo início de sua história sendo relatada no final da década de 1950, quando foi sintetizado um hidrorretentor com base no copolímero 2-hidroxietil metacrilato com etileno-dimetil-acrilato (WICHTERLE & LÍM, 1960).

Os hidrogéis se diferenciam em relação a formação de suas cadeias, sendo classificados em hidrogel químico ou físico. Os hidrogéis físicos podem ser dissolvidos com o auxílio de estímulos externos, como variação de temperatura, intensidade iônica, pH, dentre outros, ao contrário dos hidrogéis químicos que não podem ser dissolvidos. Por tais propriedades, os hidrogéis têm sido aplicados em diversos

setores, incluindo-se a agricultura. Devido a tais propriedades, os hidrogéis são aplicados em uma vasta gama de setores, incluindo-se a agricultura (BORTOLIN, 2014).

A formação de hidrogéis pode ser feita a partir de polímeros de origem natural, com ou sem modificação química (ácido hialurônico, alginato, amido, quitosana), também conhecidos como hidrogéis naturais, formados por interações físicas. Os hidrogéis também podem ser formados por polímeros sintéticos, como a acrilamida e o ácido metacrílico, entre outros. Outra possibilidade é a obtenção de hidrogéis combinando-se materiais sintéticos com os naturais (quitosana, polissacarídeos, etc...) que na maioria dos casos alteram as propriedades do material obtido (ENAS, 2015).

Os hidrogéis a base de poliacrilamida destaca-se aos demais tipos, sendo ele aplicados em larga escala na agricultura. Tendo como característica a possibilidade de modificação pela adição de outros componentes durante a síntese do material. Os hidrogéis de poliacrilamida sintetizados sem modificantes têm um mecanismo de formação demonstrado em Aouada (2009).

Com passar dos anos, pesquisadores têm desenvolvido e caracterizados hidrogéis apresentando variações em suas propriedades, como intensidade iônica, pH, capacidade de absorção de água (relação de quantidade pelo intumescimento), temperatura, ou na presença de moléculas específicas (RZAEV et al., 2007; CHATERJI et al., 2007; HE et al., 2008; GIL et al., 2004).

A aplicação de hidrogel na agricultura tem apresentado bons resultados, porém o seu uso encontra-se limitado devido ao custo do insumo e baixa biodegradabilidade, se tornando um entrave para sua aplicação em larga escala. Visando melhorar as características dos hidrogéis para a aplicação na agricultura, estudos foram realizados com o intuito de se obter hidrogéis combinados a polissacarídeos (LEONE et al., 2008; POURJAVADI et al., 2007). Tal combinação melhora as propriedades hidrofílicas dos hidrogéis, tendo um elevado número de grupamentos hidroxilas e carboxilas, agregando também melhora na biodegradabilidade, quando na sua estrutura tem grupamentos glicosídeos, facilitando a degradação do material sob ataques de fungos e bactérias (LEONE et al., 2008; ZHAO et al., 2006).

Pesquisadores desenvolveram nova estratégia que busca modificar suas propriedades projetando-o como compósito ou nanocomposito, sendo argilominerais a base como material de carga mais imediato. Por sua grande abundância no solo e

ocorrência natural, estes materiais apresentam alta capacidade de troca de cátions, alta hidrofiliabilidade e, conseqüentemente, alta afinidade com hidrogéis de cadeias hidrofílicas (PENG et al., 2008; YUMEL et al., 2009).

Diversos autores estudaram a formação de hidrogéis nanoestruturados, porém ainda estão em busca de conhecimento nas modificações das propriedades do hidrogel como material base, com enfoque ao aumento da resistência mecânica do mesmo (WU et al., 2000; LIU et al., 2006).

A adição de hidrogel em determinadas concentrações pode até duplicar a capacidade de retenção do solo, podendo este incremento variar de acordo com a textura do solo utilizado (PREVEDELLO & BALENA, 2000). A influência da dose de hidrogel aplicado ao solo em diferentes texturas está diretamente ligada a suas características de retenção de água, tendo aumento de pelo menos 120% na sua disponibilidade de água no solo (OLIVEIRA et al., 2004).

## 1.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.3.1 Local do experimento

O estudo foi conduzido no Laboratório de Física e Química Ambiental da Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP nas coordenadas geográficas 22°00'44.9" S e 47°53'46.6" O. o laboratório fica situado no segundo piso do prédio da unidade, tendo uma bancada de um metro altura para toda a aparelhagem e instrumentos utilizados no mesmo.

### 1.3.2 Propriedades do solo

O solo utilizado no experimento é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, tendo sua granulometria distribuída em 32% de areia, 6% de silte e 62% argila, sendo classificado como franco-argiloso (SARTONELE et al., 2007). Amostras desse solo foram retiradas da área experimental do Laboratório de Referência Nacional de Agricultura de Precisão (LANAPRE), da Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP nas coordenadas geográficas 21°57'13.9" S e 47°51'10.9" O.

### 1.3.3 Preparo das amostras

O solo coletado foi peneirado por peneira de 2mm e mantido por 24 horas em estufa a 100°C para se obter a terra fina seca em estufa (TFSE). Anéis cilíndricos de PVC com diâmetro nominal de 75mm e altura de 6cm (244cm<sup>3</sup>) foram preenchidos com amostras do solo. A parte inferior dos anéis cilíndricos foi fechada com um filtro de papel e um tecido TNT, presos com elásticos para evitar a perda de solo. A parte superior dos anéis foram envolvidas com um filme transparente de mesmo diâmetro para possibilitar a medição do aumento do volume do solo em consequência do umedecimento e aumento de volume do hidrogel.

### 1.3.4 Tratamentos e arranjo experimental

Foram misturadas ao solo, de forma homogênea, doses de hidrogel de 1g, 3g e 5g por litro de solo (respectivamente, H1, H2 e H3). Também foram preparados anéis cilíndricos sem adição de hidrogel (H0).

Foram preparados anéis cilíndricos com 3 densidades de solos (1,1, 1,2 e 1,3 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente D1, D2 e D3), por meio da compactação do solo até que se atingisse o valor desejado.

O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial de 4 tratamentos (doses de hidrogel), 3 níveis (densidade do solo) e 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais (anéis cilíndricos).

### 1.3.5 Determinação da massa das amostras

A massa dos componentes da unidade experimental (anel cilíndrico, papel de filtro, tecido TNT e filme transparente) foi determinada antes do preenchimento dos anéis cilíndricos com amostras de solo. Posteriormente, foram preparadas 48 unidades experimentais conforme descrito em 1.3.4.

Os anéis cilíndricos foram colocados em uma bandeja com água para o umedecimento do solo por capilaridade. Após 24 horas em contato com a água, os anéis foram retirados e a massa úmida de cada um foi aferida. A umidade do solo foi então determinada pela equação abaixo:

$$\mu = \frac{(MU-MA)-(MS-MA)}{(MS-MA)} \times 100 \quad (1)$$

$\mu$ : umidade do solo (%);

MU: massa úmida do solo (g);

MS: massa seca do solo (g);

MA: massa do anel cilíndrico e demais componentes (g).

Com o umedecimento do solo, o aumento do volume do solo foi determinado pela altura que excedeu a borda superior de cada anel cilíndrico em oito pontos. Uma média dessas alturas foi obtida conforme a equação abaixo:

$$\Delta V = \frac{\sum h}{n \times H} \times 100 \quad (2)$$

$\Delta V$ : variação de volume (%);

h: altura do solo acima da borda superior do anel cilíndrico (cm);

n: número de pontos medidos;

H: altura do anel cilíndrico (cm).

A variação diária da massa dos anéis cilíndricos foi acompanhada durante 15 dias para se obter a perda de umidade diária. A temperatura do laboratório foi determinada por meio de 2 hastes de TDR (*time domain reflectometry*) ligados a um *data logger* que armazenava as informações da temperatura ambiente a cada hora.

**Figura 1 – Anéis cilíndricos em contato com água para umedecimento do solo**



Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023

### 1.3.6 Análise dos dados

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilker. As análises estatísticas foram feitas por meio do *software* AgroEstat®. Foi elaborada a análise de variância das variáveis umidade do solo, volume do solo e taxa de perda da umidade diária com nível de significância de 5% e 1%. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey com nível de significância de 5%. As médias de incremento da umidade do solo e incremento na umidade residual do solo foram feitas análise de regressão.

#### 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média diária monitorada no laboratório durando o período de avaliação variou de 22,5°C a 28°C.

A análise de variância para a variável umidade do solo (tabela 1), demonstra que os fatores densidade do solo e hidrogel, e a interação dos mesmos, obtiveram efeitos significativos em nível de 1% para a densidade e doses de hidrogel e 5% para a interação destes fatores.

**Tabela 1 – Análise de variância para variável umidade do solo (%) em função dos fatores densidade do solo e dose do hidrogel**

Causas da Variação	GL	QM	F
Densidade do solo (D)	2	121,90	5,78**
Hidrogel (H)	3	1033,74	48,97**
Interação DxH	6	61,27	2,90*
Tratamentos	11		
Resíduo	36	21,11	
Total	47		
CV%	8,95		

C.V. - Coeficiente de Variação; G.L. - Graus de Liberdade; Q.M – Quadrado médio; ns - Não significativo em nível de 5%; \* - Significativo em nível de 5%; \*\* - Significativo em nível de 1%.

A máxima umidade do solo obtida foi de 70,81%, obtida com os níveis dos fatores equivalentes à densidade de 1,1 kg dm<sup>-3</sup> e dose de hidrogel de 5 g L<sup>-1</sup>. Os valores médios de umidade do solo em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel podem ser visualizados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Umidade média do solo em % em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel**

Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	Dose de Hidrogel (g L <sup>-1</sup> )				Médias
	0	1	3	5	
1,1	42,49 aC	47,02 aC	54,18 aB	70,81 aA	53,62 a
1,2	44,68 aB	48,31 aB	57,46 aA	57,60 bA	52,01 a
1,3	37,83 aC	43,61 aC	51,74 aB	59,80 bA	48,24 b
Médias	41,67 D	46,32 C	54,46 B	62,74 A	

Médias em uma mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula e médias em uma mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

O efeito da densidade de solo somente foi observado com a dose de hidrogel de 5 g L<sup>-1</sup>, que apresentou umidade do solo superior na densidade de solo 1,1 kg dm<sup>-3</sup>. A densidade de solo 1,3 kg dm<sup>-3</sup> apresentou o menor valor médio de umidade. De forma que o aumento da densidade do solo ocasionou um menor armazenamento de água.

A umidade do solo aumentou com o aumento da dose de hidrogel. Esse aumento foi maior para a densidade de solo 1,1 kg dm<sup>-3</sup>. Os valores de umidade com a dose de 1 g L<sup>-1</sup> não se diferenciaram dos valores da testemunha (0 g L<sup>-1</sup>) em todas as densidades de solo consideradas. As doses de hidrogel de 3 e 5 g L<sup>-1</sup> apresentaram maiores valores de umidade do solo, com a maior dose mostrando o maior valor nas densidades de solo 1,1 e 1,3 kg dm<sup>-3</sup>.

Segundo Mendonça et al (2013), a aplicação de hidrogel na dose de 4 g por vaso de oito litros aumentou a capacidade de armazenamento em 12% em relação a testemunha (sem hidrogel), enquanto que a aplicação do dobro da dose (8 g por vaso) proporcionou um aumento de 13% em relação a testemunha. A dose de 12 g por vaso aumentou em 17% a capacidade de armazenamento de água no solo. A diferença apresentada pelo uso do dobro e do triplo da quantidade da menor dose do produto foi de 1% e 5%, respectivamente, na capacidade de armazenamento de água no solo.

De acordo com Neves et al. (2021), em suas avaliações da contribuição do hidrogel no aumento da capacidade de retenção de água, usando a dose de 4 g L<sup>-1</sup> de substrato para mudas, influenciou positivamente no aumento da umidade do solo em 5,8%, independente da forma de aplicação (produto seco ou pré-hidratado). A desidratação do produto não alterou a sua capacidade de reidratação.

Análise de variância da expansão do volume do solo (tabela 3), demonstra que o fator dose de hidrogel e a sua interação com a densidade do solo obtiveram efeitos significativos ao nível de 1%. Não houve significância para o fator densidade do solo.

**Tabela 3 – Análise de variância da expansão do volume de solo (%) em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel**

Causas da Variação	GL	QM	F
Densidade do solo (D)	2	58,29	1,47 <sup>ns</sup>
Hidrogel (H)	2	2177,27	54,96 <sup>**</sup>
Interação DxH	4	201,43	5,08 <sup>**</sup>
Tratamentos	8		
Resíduo	27	39,61	
Total	35		
CV%	23,27		

C.V. - Coeficiente de Variação; G.L. - Graus de Liberdade; Q.M – Quadrado médio; ns - Não significativo em nível de 5%; \* - Significativo em nível de 5%; \*\* - Significativo em nível de 1%.

Os valores médios de expansão do volume do solo em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel podem ser visualizados na Tabela 4. Não houve influência da densidade do solo na expansão do seu volume com as doses de 1 e 3 g L<sup>-1</sup>. Na dose de 5 g L<sup>-1</sup>, apenas a densidade de 1,2 kg dm<sup>-3</sup> apresentou uma menor expansão que os demais valores de densidade. O aumento da dose de hidrogel proporcionou uma maior expansão do volume de solo em todas as densidades avaliadas.

**Tabela 4 – Expansão do volume do solo em % em função dos fatores de densidade do solo e doses de hidrogel**

Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	Dose de Hidrogel (g L <sup>-1</sup> )			Médias
	1	3	5	
1,1	12,75 aC	22,30 aB	50,27 aA	28,44 a
1,2	14,50 aB	28,80 aA	30,23 bA	28,20 a
1,3	14,47 aC	28,15 aB	41,97 aA	24,51 a
Médias	13,91 C	26,42 B	40,82 A	

Médias em mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula e médias em mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Dos resultados, evidencia-se que a máxima expansão do volume do solo foi de 50,3% sendo obtida com os níveis dos fatores equivalentes à densidade de 1,1 kg dm<sup>-3</sup> e uma dose de hidrogel de 5 g L<sup>-1</sup>. Foi possível observar que os anéis cilíndricos apresentavam rachaduras, o que ocasionava a deformação da amostra de solo (Figura 2).

**Figura 2 – Amostras de solo com densidade de  $1,1 \text{ kg dm}^{-3}$  (A),  $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$  (B) e  $1,3 \text{ kg dm}^{-3}$  (C), após 24 horas em contato com a água para o seu umedecimento**

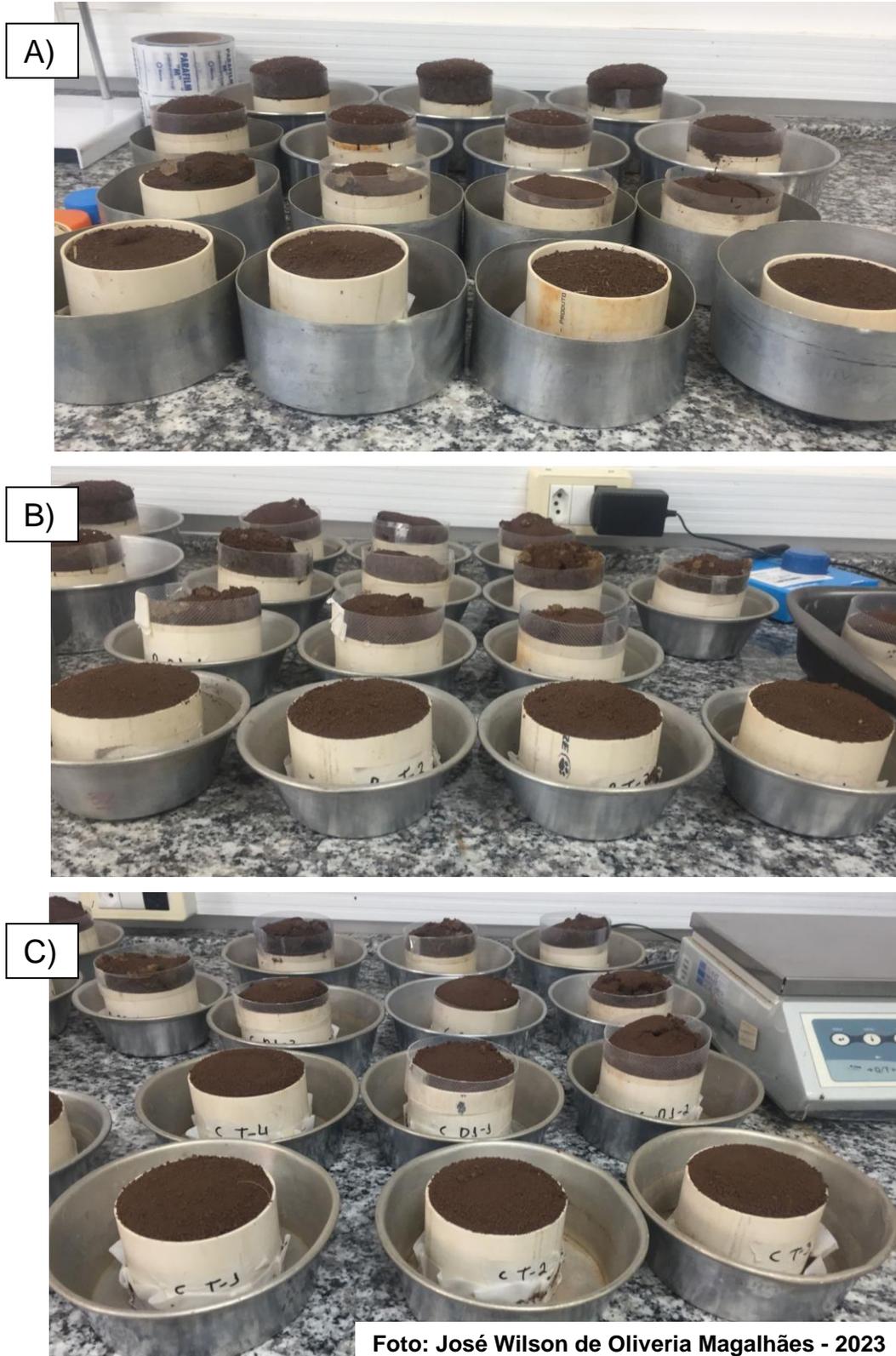


Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023

O fator densidade não se mostrou significativo para a expansão do volume do solo, mas o fator dose de hidrogel contribuiu de forma direta para essa alteração. Mendonça et al. (2013) relatam em seu trabalho que a dose de 12 g por vaso de oito litros mostrou-se desvantajosa por apresentar rachaduras no solo, indicando que o produto em condições de campo poderia expor o sistema radicular da cultura e ter a perda do produto.

De acordo com a análise de variância aplicada às médias de perda diária de umidade do solo entre os tratamentos, houve diferença significativa ao nível de 1% para os fatores densidade do solo e dose de hidrogel, e a interação entre ambos (Tabela 5).

**Tabela 5 – Perda diária de umidade do solo em % em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel**

Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	Dose de Hidrogel (g L <sup>-1</sup> )				Médias
	0	1	3	5	
1,1	3,13 bA	3,47 aB	4,48 bC	5,77 cD	4,21 b
1,2	3,32 bA	3,24 aA	3,51 aA	3,38 aA	3,36 a
1,3	2,85 aA	3,21 aB	3,57 aC	4,00 bD	3,41 a
Médias	3,10 A	3,31 B	3,85 C	4,38 D	

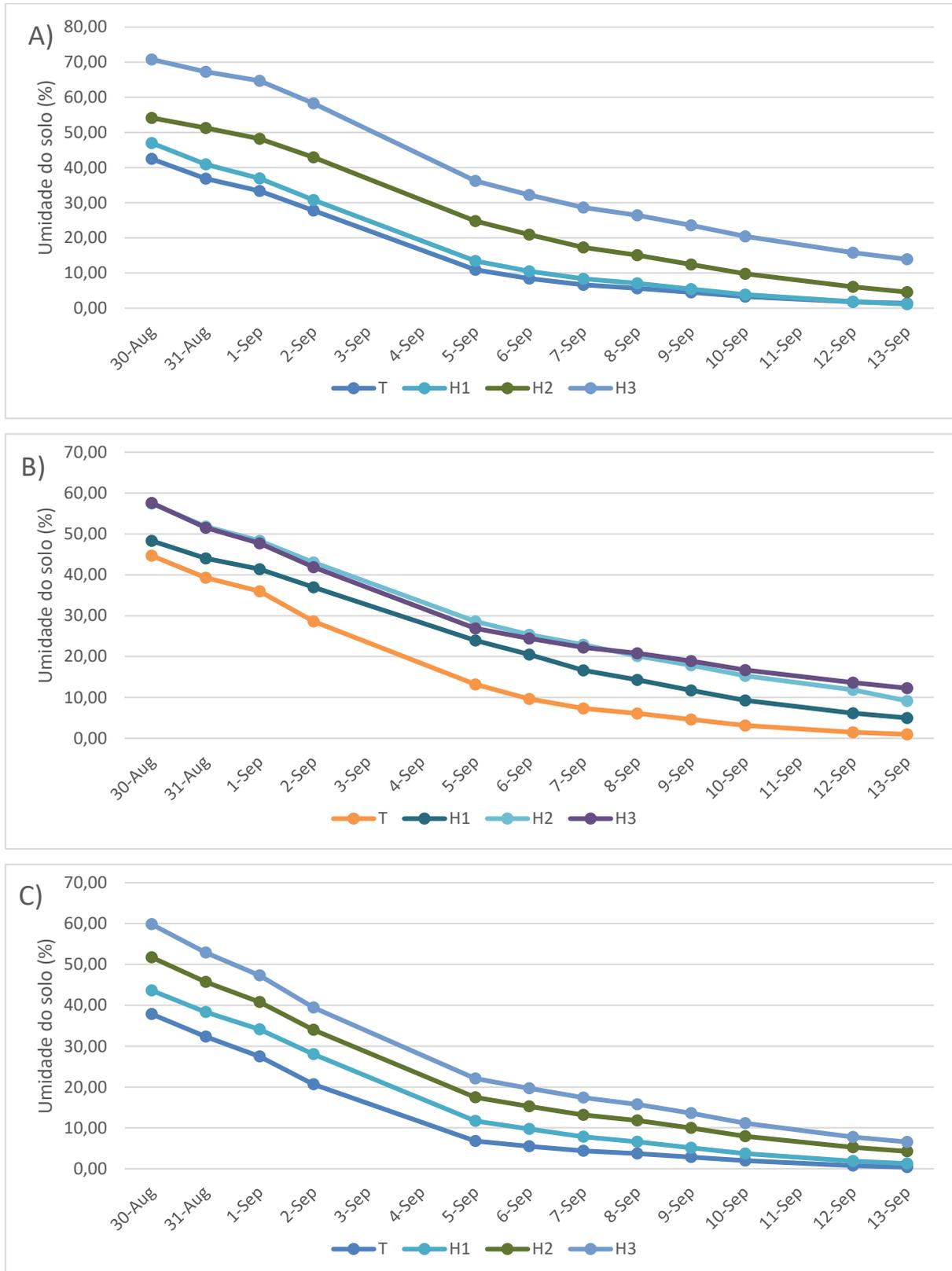
Médias em mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula e médias em mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

As menores perdas de umidade do solo ocorreram para as densidades 1,2 e 1,3 kg dm<sup>-3</sup> e dose de 3 e 5 g L<sup>-1</sup>. A taxa de perda diária de umidade do solo aumentou de acordo com o aumento da dose de hidrogel. Isso é reflexo da maior quantidade da água disponível à medida que se aumentou a dose de hidrogel. Consequentemente, o tratamento testemunha apresentou as menores perdas, com exceção da densidade de 1,2 kg dm<sup>-3</sup>.

Os resultados deste estudo corroboram com os de Fernandes (2016), que em análise de diferentes doses de hidrogel, observou o aumento da umidade do solo em tensões abaixo de 1 kPa, indicando que o hidrogel retém a água e a libera gradativamente, aumentando o tempo de secamento do solo após uma chuva ou irrigação. Isso leva a uma maior umidade do solo disponível às plantas em baixas tensões.

Neves et al. (2021) mostraram em ambiente controlado que a utilização de hidrogel apresenta um ritmo de perda de umidade do solo menor quando comparadas a não utilização do polímero. De forma comparativa as médias obtidas pelas amostras sem o uso do polímero foram menores do que as amostras com hidrogel, porém as amostras com hidrogel obtiveram maiores umidades que foi também foi perdida. O comportamento da umidade do solo ao longo do período da avaliação pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3 – Redução da umidade do solo com densidade 1,1 kg dm<sup>-3</sup> (A), 1,2 kg dm<sup>-3</sup> (B) e 1,3 kg dm<sup>-3</sup> (C), em função das doses de hidrogel (testemunha – T, 1 g L<sup>-1</sup> – H1, 3 g L<sup>-1</sup> – H2 e 5 g L<sup>-1</sup> - H3)**



Ao final dos 15 dias de avaliação, a maior dose de hidrogel (5 g L) apresentou os maiores valores de umidade do solo, para cada valor de densidade (Tabela 6). Entretanto, seus valores somente diferiram da dose de 3 g L<sup>-1</sup> com densidade de 1,1 kg dm<sup>-3</sup>. Por outro lado, a densidade só apresentou efeito nas duas maiores doses de hidrogel, com o valor de 1,3 kg dm<sup>-3</sup> apresentando a menor umidade residual.

**Tabela 6 – Umidade residual do solo em % em função dos fatores densidade do solo e dose de hidrogel**

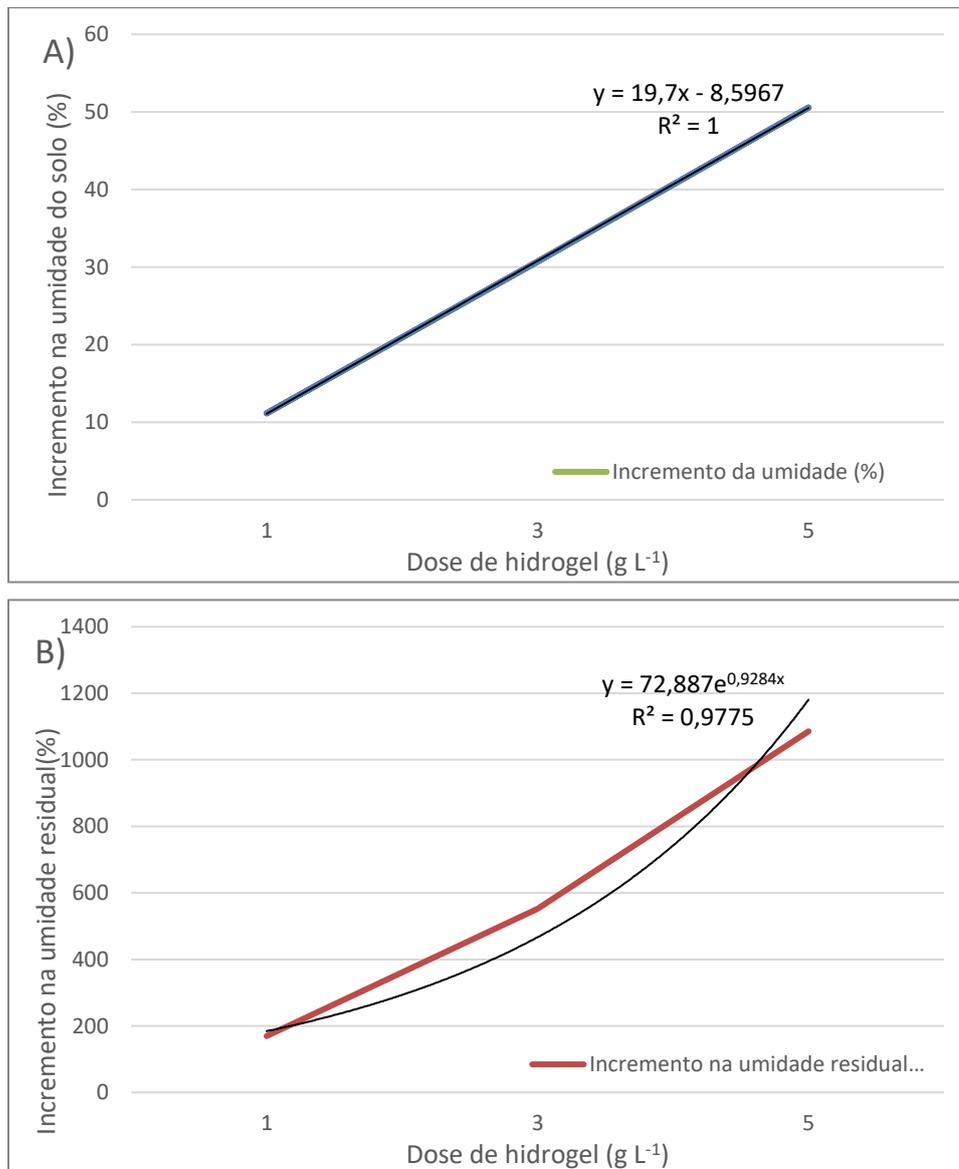
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	Dose de Hidrogel (g L <sup>-1</sup> )				Médias
	0	1	3	5	
1,1	1,41 aB	4,99 aB	4,59 bB	13,93 aA	5,27 a
1,2	0,97 aC	1,27 aB	9,17 aA	12,26 aA	6,85 a
1,3	0,38 aB	1,16 aB	4,25 bA	6,55 bA	3,11 b
Médias	0,92 D	2,48 C	6,00 B	10,91 A	

Médias em mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula e médias em mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%.

A maior umidade residual foi observada na dose de 5 g L<sup>-1</sup> (10,91%), superior à da dose de 3 g L<sup>-1</sup> e 1 g L<sup>-1</sup>. Porém, isso significa no uso de uma quantidade de hidrogel 67% maior em relação a da dose de 3 g L<sup>-1</sup>. O solo com densidade de 1,1 e 1,2 kg dm<sup>3</sup> demonstrou os melhores resultados, sendo esse valor o mais próximo ao que podemos encontrar nas camadas superficiais do solo em condições de campo.

O aumento da dose de hidrogel de 1 para 3 g L<sup>-1</sup> (aumento de 200% da quantidade do produto), e de 3 para 5 g L<sup>-1</sup> (aumento de 67% da quantidade do produto) proporcionou um aumento da umidade do solo com textura franco-argilosa, após 24 horas de umedecimento, 11,2, 30,7 e 50,6% maior que o solo sem hidrogel, respectivamente. O incremento da menor dose para a intermediária foi de 19,5%, e desta para a maior dose, 19,9%. Consequentemente, o aumento da umidade residual após 15 dias de secamento do solo por evaporação, foi de 170, 552 e 1086% maior que a testemunha, respectivamente. O incremento foi de 383% entre 1 e 3 g L<sup>-1</sup>, e de 534% entre 3 e 5 g L<sup>-1</sup>, conforme ilustrado na figura 4.

**Figura 4 – Incremento das doses de hidrogel à umidade do solo (A) e umidade residual (B)**



## 1.5 CONCLUSÕES

O aumento das doses proporcionou um incremento praticamente constante da umidade do solo após 24 horas de umedecimento, enquanto que a umidade residual teve um incremento exponencial.

## REFERÊNCIAS

- AOUADA, F. A. **Síntese e Caracterização de Hidrogéis de Poliacrilamida e Metilcelulose para Liberação Controlada de Pesticidas**. (Tese de doutorado), Programa de Pós Graduação em Química – UFSCar, São Carlos, 12p, 2009.
- AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, n. 1 p. 23- 31, 2002.
- BALDOCK, J. A., OADES, J. M., WATERS, A. G., PENG, X., & VASSALLO, A. M. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, 16(1), 1-42. 2017.
- BASSOI, L. H. Irrigação com deficit. In: Alysson Paolinelli; Durval Dourado Neto; Everardo Chartuni Mantovani. (Org.). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. 1ed.Piracicaba: ESALQ-USP, 2021, v. , p. 155-173.
- CAMPESE, G. M.; TAMBOURGI, E. B.; GUILHERME, M. R.; MOURA, M. R. DE; MUNIZ, E. C.; YOUSSEF, E. Y. Resistência mecânica de hidrogéis temo-sensíveis cionstituidos de Alginato-Ca<sup>+2</sup>/PNIPAAm, tipo semi-IPN. **Quimica Nova**. 1649v. 30f. 2007.
- CHATERJI, S.; KWON, I. K. & PARK, K. Smart polymeric gels: redefining the limits of biomedical devices. **Progress in Polymer Science**, v. 32, n. 8-9, p. 1083-1122, 2007.
- DEXTER, A. R. Compression and consolidation of preconsolidated unsaturated soil: I. A review. **Soil and Tillage Research**, 10(1-2), 89-123. 1987.
- ENAS, M. A. Hydrogel: preparation, characterization, and applications. A review. **Journal of Advanced Research**, v. 6, n. 2, p. 105-121, 2015.
- FERNANDES, A. C. O. **Hidrogel e retenção de água em dois solos cultivados com feijão-caupi e girassol**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo, Área de Concentração: Manejo do Solo e Água) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2019.
- GIL, E. S. & HUDSON, S. M. Stimuli-Reponsive polymers and their bioconjugates. **Progress in Polymer Science**, v. 29, n. 12, p. 1173-1222, 2004.
- HALLEMA, D. W., COOPERSMITH, E. J., SMITH, J. E., & LOAGUE, K. Soil Moisture Monitoring and Drought Mitigation for California Almond Orchards with the Atmosphere–Land Exchange Infiltration Model. **Water Resources Research**, 54(3), 1995-2013. 2018.
- HE, C.; KIM, S.W. & LEE, D.S. in situ gelling stimuli-sensitive block copolymer hydrogels for drug delivery **Journal of Controlled Release**, v. 127, n. 3, p. 189-207, 2008
- HOBBS, P. R., SAYRE, K., & GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 543-555. 2017.

KOCH, J., GLADE, T., & SCHWÄRZEL, K. Assessing Soil Porosity with Airborne Electromagnetic Induction. **Remote Sensing**, v.12, n. 8, 1283. 2020.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895. 2015

LEONE, G.; DELFINI, M.; DI COCCO, M. R.; BORIONI, A. & BARBUCCI, R. The applicability of an amidated polysaccharide hydrogel as a cartilage substitute: structural and rheological characterization. **Carbohydrate Research**, v. 343, n. 2, p. 317-327, 2008.

LIU, Y.; ZHU, M.; LIU, X.; ZHANG, W.; SUN, B.; CHEN, Y. High clay content nanocomposite hydrogels with surprising mechanical strength and interesting deswelling kinetics. **Polymer**, v. 47, n. 1, p. 1-5. 2006

MARQUES, P. A. A; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 1-7, jan. 2013.

MENDONÇA, T. G.; URBANO, V. R.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 2, n. 2, p. 87-92, 2013.

MOHANTY, B. P., COSH, M. H., LAKSHMI, V., MONTZKA, C., & HSU, A. Y. Microwave remote sensing of soil moisture. **Remote sensing of soil moisture** (pp. 247-271). CRC Press. 2007.

NAVROSKI, M. C. et al. Influência do polímero hidrorretentor nas características do substrato comercial para produção de mudas florestais. **Interciência**, Caracas, v. 41, n. 5, p. 357-361, 2016.

NEVES, O. S. C.; AVRELLA, E. D.; PAIM, L. P.; FIOR, C. S. Retenção de água em substratos com hidrogel: influência das características do material e nível de adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 1751-1767, 2021. DOI 10.5902/1980509843240. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509843240>.

OLIVEIRA, R.A. DE; REZENDE, L.S.; MARTINEZ, M.A.; MIRANDA, G.V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 160-163, 2004.

PENG, L.; SIDDARAMAIAH, N. H. K.; SEOK, B. H. & Lee, J. H. Novel PAAm/Laponite clay nanocomposite hydrogels with improved cationic dye adsorption behavior. **Composites Part-B: Engineering**, v. 39, n. 5, p. 756-763, 2008.

POURJAVADI, A.; BARZEGAR, S. H.; ZEIDABADI, F. Synthesis and Properties of biodegradable hydrogel of k-carrageenan grafted acrylic acid-co-2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid as candidates for drug delivery system. **Reactive and Functional Polymers**, v. 67, n. 7, p. 644-654. 2007

PREVEDELLO, C.L.; BALENA, S.P. Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p.251-258, 2000.

RAWLS, W. J., AHMED, M., & SHEN, H. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 3, p. 711-725. 2017.

RZAEV, Z.M.O.; DINCER, S. & PISKIN, E Functional copolymers of N isopropylacrylamide for bioengineering applications. **Progress Polymer Science**, v. 32, n. 5, p. 534-595, 2007.

SARTORELLI, P. A. R.; SILVA, J. M. S.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E.; ÁVILA, E. Q. Rebrotas após fogo de espécies arbóreas de diferentes grupos fenológicos foliares em cerrado stricto sensu. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça. n. 10, 2007.

WICHTERLE, O. & LÍM, D. Hydrophilic gels for biological use **Nature.**, 185ed : 117f, 1960.

WU, J.; LIN, J.; ZHOU, M.; WEI, C. Synthesis and properties of starch-graft-polyacrylamide/clay superabsorbent composite. **Macromolecular Rapid Communications**, v. 21, n. 15, p. 1032-1034, 2000.

YUMEI, Y.; XIANG S. & PIXIN. W. Fabrication and characterization of microstructured and pH sensitive interpenetrating networks hydrogel films and application in drug delivery field. **European Polymer Journal**, v. 45, n. 2, p. 309-315, 2009.

ZHAO, L.; XU, L. MITOMO, H.; YOSHII, F. Synthesis of pH-sensitive PVP/CM-chitosan hydrogel with improved surface property by irradiation. **Carbohydrate Polymers**. v. 64, n. 3, p. 473-480, 2006.

## CAPÍTULO 2

### DESEMPENHO DO TRIGO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E COM APLICAÇÃO DE HIDROGEL

JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES; MARIANA MARTINS; LETÍCIA PIAZENTIM DANTAS; BIANCA BATISTA BARRETO; JOÃO LEONARDO FERNANDES PIRES; EDNALDO JOSÉ FERREIRA; LUÍS HENRIQUE BASSOI

#### RESUMO

O uso do hidrogel pode minimizar os efeitos do déficit hídrico às culturas, pois permite um aumento no armazenamento de água no solo e a liberação lenta da água às plantas. O objetivo foi avaliar o rendimento de duas cultivares de trigo a essas doses do insumo sob alta e baixa disponibilidade de água no solo. Assim, um experimento com o cultivo do trigo foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Instrumentação, em São Carlos - SP, para avaliar o desempenho de duas cultivares de trigo (BRS 394 e BRS 264) irrigadas por gotejamento, com déficit hídrico e com aplicação de hidrogel ao solo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições, tendo como fatores o manejo de irrigação (irrigação plena e irrigação com déficit) e a dose de hidrogel (0, 1, 3 e 5 g L<sup>-1</sup> de solo). A BRS 394 obteve melhores respostas, tendo médias superiores na massa seca de grãos por espiga, índice de colheita e número de espiguetas férteis na irrigação com déficit, com a dose de hidrogel de 1 g L<sup>-1</sup> de solo. A cultivar BRS 264 apresentou efeitos negativos com o aumento da dose de hidrogel sob o manejo de irrigação plena. A irrigação com déficit não demonstrou diferença com o aumento da dosagem para esta cultivar.

**Palavras-chave:** *Triticum spp*, déficit hídrico, rendimento de grãos.

#### ABSTRACT

Polymers may have the ability to absorb water and gradually release it, making their application useful in agriculture. Thus, this research aimed to analyze the responses of soil moisture and water retention to soil density and dosage of hydroretentive polymers (hydrogel). The objective was evaluating the yield of two wheat cultivars under these doses and under high and low soil water availability. The study was monitored from August 30 to September 13, 2022 at the Environmental Physics and Chemistry Laboratory of Embrapa Instrumentação, in São Carlos-SP. Cylindrical PVC

rings, with an upper face covered with a transparent film to prevent soil loss due to soil expansion, and with a lower face covered with a paper and fabric filter, were placed for 24 hours in contact with water to rise through capillarity and wetting of the sample. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme, with primary treatments consisting of four doses of hydrogel (0, 1, 3 and 5 g L<sup>-1</sup> of soil) and secondary treatments using three soil densities (1,1, 1, 2 and 1.3 kg dm<sup>-3</sup>), in 4 repetitions. As a sample with doses of 1 g L<sup>-1</sup> and 3 g L<sup>-1</sup> showed an increase in soil moisture and water retention. Samples dosed with 5 g L<sup>-1</sup> had the highest soil expansion and the highest daily rate of soil moisture reduction.

**Keywords:** *Triticum spp*, water deficit, grain yield.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais produzidos do mundo. No Brasil, esta cultura é de fundamental importância no sistema de produção agrícola do Centro e Sul do País, pois o Brasil ainda não consegue ser autossuficiente quanto a produção da cultura. Contudo, o desenvolvimento de novas cultivares e técnicas de manejo da cultura (incluindo irrigação), associados a expansão da fronteira agrícola, podem proporcionar novas oportunidades para expansão do cultivo do trigo (CONBEA, 2023).

O plantio do trigo no Brasil é conduzido tanto no sistema irrigado quanto no sistema de sequeiro. O sistema em sequeiro possui maior potencial quanto a área de cultivo, porém ainda há aspectos a serem melhorados, pois esta área em ampliação compete diretamente com outras culturas em sua rotação, como milho, sorgo e girassol (CONBEA, 2023).

Uma grande limitação no trigo cultivado no Cerrado em sequeiro é o período de semeadura, ao final do período chuvoso, visando reduzir os impactos causados pela brusone, doença essa que afeta diretamente a espiga da planta, chegando a causar grandes reduções na produtividade e tornando-a susceptível a qualquer descontinuidade ou irregularidade das chuvas na região. Veranicos ocorrendo em determinados estádios de desenvolvimento da cultura acarretam em estresse hídrico da planta, refletindo diretamente na sua produção (Santos et al., 2012).

Segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA) o estado de São Paulo no ano de 2020 produziu em torno de 310 mil toneladas de trigo, com uma pequena redução em 2021 para cerca de 290 mil toneladas e saltando para grande resultado em 2022 com a produção de aproximadamente 423 mil toneladas de trigo.

Um fator que afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento em plantas cultivadas é a ocorrência de déficit hídrico. Há situações que ocorrem restrição da disponibilidade de água, sendo a agricultura irrigada afetada, quando há necessidade de priorização no suprimento de água para outros setores. A prática da irrigação traz consigo um elevado custo, no entanto, a aplicação de lâminas de água menores que a requerida pela cultura em determinadas fases fenológicas, definida assim como irrigação com déficit ou deficitária, possibilita uma redução nos custos operacionais, aumento na qualidade da produção, pequena redução da produtividade, dentre outros benefícios (Basso, 2020).

Uma das alternativas para minimizar estes possíveis efeitos consiste no uso de hidrogel que retém a água do solo e a libera de forma lenta, reduzindo possíveis perdas do rendimento de grãos de uma cultura devido à falta de água (MENDONÇA et al., 2013).

Este trabalho pretende avaliar as possíveis alterações na disponibilidade de água no solo e no rendimento de grãos da cultura do trigo devido ao uso de hidrogel nanocompósito, com e sem restrição hídrica, em condições de casa de vegetação.

## 2.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.2.1 Restrição hídrica na agricultura

A escassez hídrica é problema de escala global, agravado principalmente pelas mudanças climáticas, crescimento populacional, urbanização, poluição hídrica, industrialização, falta de fiscalização e manejo no uso sustentável dos recursos naturais. Problema este, promove a procura e aprimoramento de novas práticas na gestão de recursos hídricos em aspectos sociais, econômicos e ambientais (PIMENTEL, 2021).

A Região Nordeste e o Distrito Federal sofreram grande impactados com a crise hídrica ocorrida desde 2012 e a Região Sudeste nos anos de 2014 e 2015,

acontecimentos considerados recentes. Em monitoramento da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) notou-se significativa redução nos valores pluviométricos mensais desde 2012 para a Região Nordeste e a partir de 2013 para a Região Sudeste, em comparação aos respectivos registros históricos. A ocorrência de menores taxas pluviométricas registradas e o crescimento da demanda de recursos hídricos sobre a oferta podem acarretar em uma crise hídrica a ser enfrentada. A conscientização em tratar os recursos hídricos como bem público finito agrega para um uso racional e sustentável da água, visando assim garantir oferta hídrica aos seus múltiplos setores. Técnicas como reuso da água, redução no desperdício, conservação dos mananciais e investimento em infraestruturas garantiram uma maior capacidade de captação, armazenamento e distribuição de água, devem ser aprimoradas e investidas para minimizar os riscos e agravamento da crise hídrica nacional (ANA, 2015; 2018).

Dada as incertezas nos regimes pluviométricos incidentes em uma região ocasionado pelas alterações climáticas, a agricultura busca alternativas em técnicas que reduza os riscos inerentes da atividade (LIMA et al., 2019). De tal forma, o uso da irrigação para a agricultura é indispensável quando se visa obter uma produção eficiente e contínua (PRACIANO et al., 2019).

### 2.2.2 Uso de hidrogel para retenção de água no solo

Pesquisadores tem buscados técnicas e alternativas para melhorar a produtividade e redução de custos de produção, dada a necessidade em otimizar a produção e se precaver a intemperes do campo. Para tal situação, polímeros hidrorretentores se mostram como uma alternativa, agindo como reguladores da disponibilidade de água do solo para as culturas, aumentando a produtividade e reduzindo custos na produção (MENDONÇA et al., 2013).

Hidrogéis são materiais formados por redes de polímeros hidrofílicos que possuem habilidade de absorver grande quantidade de água (AOUADA et al., 2005; MOURA et al., 2005; WEI et al., 2005). Caracterizam-se por apresentar insolubilidade e hidrofilicidade. A presença de grupamentos hidrofílicos como álcoois, carboxilas, amidas, sulfônicos, entre outros, favorecem a hidrofilicidade, já a insolubilidade é atribuída pelo arranjo tridimensional da rede de moléculas (HOFFMAN, 2002).

Hidrogéis são classificados como químicos ou físicos, sendo sua diferença atribuída a síntese do material. O hidrogel químico ou hidrogel permanente é formado a partir de reações químicas. O hidrogel físico ou hidrogel temporário é formado a partir de interações físicas (HOFFMAN, 2002). Os hidrogéis podem ser formados por reticulações de polímeros naturais (ágar, ácido hialurônico, alginato, quitosana), semi-sintéticos (polímeros naturais modificados, como dextrana reticulada e galactomanana) e sintéticos (poliacrilamida, poli(HEMA), PVC, etc.). Diferenciam-se como neutro ou iônicos, a partir da natureza dos grupos associados às cadeias poliméricas lateralmente (PEPPAS et al., 2000). Hidrogéis tem característica responsiva, variando o intumescimento com a força iônica, pH, temperatura, dentre outros fatores do ambiente (KHARE & PEPPAS, 1995).

A resistência mecânica é muito importante na aplicação do hidrogel. Tal característica pode ser obtida como sistemas de polímeros interpenetrantes (IPN). Sintetizados como IPN é resultante da combinação de dois polímeros diferentes, ambos de forma reticulada, ao menos um é sintetizado ou reticulado (LORENZO et al., 2005; CHANGEZ et al., 2005). A ligação entre estes dois polímeros não é covalente, por tanto, a reação no processo de polimerização/reticulação é entre moléculas semelhantes. Há a possibilidade de combinação de um polímero reticulado e outro linear, chamando-se de rede semi-interpenetrada ou semi-IPN. Sendo a cadeia do polímero linear entrelaçada na rede do polímero reticulado, o que pode restringir alterações da estrutura da rede (GUILHERME et al., 2004; CHOWDHURY et al., 2004). Nos últimos anos, os hidrogéis estão sendo bastante aplicados na agricultura. Podem-se aplicar os hidrogéis como condicionadores de solos, com o intuito de aumentar a disponibilidade de água no solo para regiões com déficit de água e capacidade de reter água e disponibiliza-la de forma gradual para os cultivos agrícolas. A adição do hidrogel ao solo otimiza a capacidade de armazenamento do solo, reduzindo perdas por percolação e lixiviação de nutrientes, e com sua expansão, beneficia a aeração e drenagem do solo, colaborando com o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas. (BORTOLIN et al., 2016; MELO et. al 2019; KLAIC et al. 2021).

A utilização do hidrogel tomou proporções mundiais, se mostrando eficaz na redução da frequência de irrigação e no volume de água utilizada durante o ciclo das culturas, mostrando-se satisfatórios em solos arenosos gerando um uso da água de forma mais eficiente. Em cenários de regiões áridas e semiáridas, um dos fatores

limitantes é a disponibilidade de água, de tal forma que sua utilização para irrigação pode ser inviável do ponto de vista econômico e operacional, chegando a ponto de ser impraticável, pois a demanda por água é priorizada por outros setores e limita o tamanho da área a ser cultivada (DRANSKI, 2010).

A liberação de água do hidrogel ao meio que está inserido depende diretamente do tipo do produto. Para hidrogéis mais reticulados, a liberação da água se dá de forma mais rápida após 8 horas de adsorvida, e em hidrogéis menos reticulados a liberação da água é de forma gradual ao longo do tempo (Magalhães e Feitosa, 2005)

Mendonça et al. (2013) utilizaram três doses do hidrogel (4, 8 e 12 g por vaso com 8 L de solo) para analisar a eficiência do hidrogel quanto ao aumento da disponibilidade de água e do aumento da condutividade elétrica do solo. A dose de 4 g por vaso obteve resultados melhores quando comparada a dose recomendada pelo fabricante (8 g por cova, em condições de campo), não se diferenciando na disponibilidade de água no solo, tendo uma menor condutividade elétrica e menor custo, mostrando viabilidade na utilização de tal dose. A dose de 12 g por vaso causou uma expansão do volume do solo ocasionando perda de solo, hidrogel e acarretar no possível estrangulamento radicular.

### 2.2.3 Cultura do trigo

O trigo (*Triticum aestivum* L.) pertence à família das poaceae, sendo uma das primeiras espécies de plantas a serem cultivadas pelo homem, muito associada a agricultura moderna e desenvolvimento da civilização ocidental (FORNASIERI FILHO, 2008). De acordo com relatório da Agricultural Market Information System (AMIS) a produção mundial do trigo para 2022/2023 é estimada em 796 milhões de toneladas superando a marca do ano anterior que foi de 778 milhões de toneladas. Com tais resultados, o trigo se encontra como o segundo maior volume de produção mundial, atrás somente do milho. Um aspecto importante que mostra tamanho potencial de trigo na produção mundial é a variedade de cultivares existentes, podendo assim ser cultivado em todo o mundo, representando cerca de 20% da área plantada do planeta. A cultura tem como principal produto o grão, o qual é uma fonte valiosa de carboidratos, proteínas e fibras (FORNASIERI FILHO, 2008), estando presente na panificação e massas alimentícias, como em bolos e biscoitos, podendo ser utilizada em ração animal. Tendo seu crescimento em destaque no Brasil, o trigo tem produção

anual oscilando entre 9 e 10 milhões de toneladas, ainda não suprimindo sua demanda de 13 milhões de toneladas anualmente, dependendo da importação do cereal (CONAB, 2023).

Segundo dados da CONAB (2023), a área plantada de trigo na safra 2022/2023 atingiu 3,3 milhões de hectares, um aumento de 7% da área comparado à safra anterior. A produção da safra 2022/2023 está estimada em 9,5 milhões de toneladas. Atualmente sendo plantado nos estados de Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Santa Catarina, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia e Distrito Federal (IBGE, 2023).

### 2.2.3 Déficit hídrico no trigo

Dentre os estádios fenológicos da cultura, quarta folha (40 dias após a semeadura – DAS), folha bandeira (64 DAS), antese (82 DAS) e grão leitoso (98 DAS), a aplicação do déficit hídrico mostrou-se mais sensível ao estádio da folha bandeira, seguido pelo estádio da antese, havendo redução de 94% e 50% da produtividade, respectivamente. No estádio de grão leitoso não foi afetado significativamente no rendimento de grãos quando exposto ao déficit hídrico, em relação às plantas testemunhas. Níveis de déficit hídrico até -2,0 Mpa não afetam significativamente o rendimento de grãos, independente do estádio fenológico que a cultura se encontra. Sendo o rendimento de grãos, principal componente para o rendimento da cultura tendo o número de grãos por espiga influenciando diretamente neste rendimento (RODRIGUES et al., 1998).

A ocorrência de déficit hídrico no período de 40 e 60 dias antes da colheita, acarretou na redução do peso dos grãos de trigo. Para o período de 40 e 50 dias antes da colheita, o rendimento dos grãos foi afetado negativamente. Contrapondo a ocorrência do déficit hídrico no período de até 10 dias antes da colheita, tendo efeito positivo para o peso de grãos (GUARIENTI et al., 2005).

O início do período de florescimento das plantas de trigo, submetidas à déficit hídrico, proporciona menor produção de fitomassa e de grãos por planta, havendo diferença no comportamento de diferentes cultivares de trigo em relação a manutenção do potencial produtivo. Tal potencial pode ser avaliado no monitoramento da recuperação do teor relativo de água das folhas. (SANTOS et al., 2012).

Característico do estresse hídrico na planta de trigo é a inibição da síntese de proteínas e uma acelerada degradação de proteínas, levando ao acúmulo de aminoácidos e aminas livres. O aumento elevado das concentrações de prolina, diamina (putrescina) e poliaminas (espermidina e espermina) é característica principal na ocorrência de distúrbio no metabolismo de proteínas. O aumento dos teores destes aminoácidos e aminas em plantas de trigo é sinalizador do estresse hídrico. A elevada presença destes compostos sob déficit hídrico é associada a resposta das plantas a essa condição prejudicial, de forma a representar um mecanismo de regulador da perda de água, na presença de aumento no potencial hídrico (FUMIS; PEDRAS, 2002).

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 Local do experimento

O experimento foi desenvolvido na casa de vegetação do Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (LANAPRE), pertencente a Embrapa Instrumentação, em São Carlos – SP. A área encontra-se a 860 m de altitude e nas coordenadas geográficas de 21°57'13,9" S e 47°51'10,9" O.

### 2.3.2 Preparo dos vasos

Vasos com volume unitário de 15 dm<sup>3</sup> e 28 cm de diâmetro foram utilizados para o cultivo de trigo em casa de vegetação. Os mesmos foram preenchidos com 1,5 kg de brita, uma manta geotêxtil para evitar a perda de solo pela drenagem e, por fim, 12 kg de terra fina seca ao ar (TFSA) passados em peneira de 2 mm até o solo atingir 0,02 m da borda, compactando-se de modo a manter sua densidade o mais uniforme possível. Drenos na lateral inferior do vaso permitiram a saída do excesso de água do solo.

### 2.3.3 Características físico-químicas do solo

O solo utilizado no preenchimento dos vasos é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (SARTORELLI et al. 2007). A granulometria está distribuída em 32% de areia, 6% de silte e 62% argila, o que conferiu uma textura franco-argilosa. O resultado da análise química do solo utilizado nos vasos está na Tabela 7.

**Tabela 7 – Atributos químicos do solo utilizado no experimento**

P assimilável	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		.....mmolc kg <sup>-1</sup> .....						
21.4	19.6	5.16	1.11	18.9	12.2	24.9	<0.1	32.2	57.1

#### 2.3.4 Correção de pH e adubação

Foi realizada a correção de pH do solo aplicando-se calcário dolomítico na proporção de 1 t ha<sup>-1</sup> um mês antes do início do experimento. Os vasos foram submetidos a irrigação diariamente para a ativação do calcário e estabilização do pH do solo. A adubação foi realizada de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com adubação na semeadura de 30 kg de N ha<sup>-1</sup> (ureia, 46% de N), 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (superfosfato simples, 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 40 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (cloreto de potássio, 60% de K<sub>2</sub>O) e adubação em cobertura aos 30 dias após a emergência com 40 kg de N ha<sup>-1</sup> (ureia, 46% de N).

#### 2.3.5 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado na casa de vegetação foi o gotejamento, com vazão de 1,6 L h<sup>-1</sup> por gotejador, com 4 emissores por vaso. Todo o sistema era automatizado e controlado por um painel na entrada na ante sala da casa de vegetação. A umidade e a temperatura do ar na casa de vegetação foram registradas durante todo o experimento.

A irrigação foi realizada diariamente, sendo 6 minutos às 8 horas e 6 minutos às 13 horas. O tempo da irrigação foi sendo alterado de acordo com a demanda da cultura. A umidade volumétrica do solo foi medida por um sensor HydroSense II (Campbell, USA) já calibrado para o solo em questão (Abreu, 2020), conforme

Equação 3, e tendo a lâmina de irrigação ajustada de acordo com a demanda da cultura.

$$U = (0,3567 \times t) - 0,5154 \quad (3)$$

U: Umidade do solo (%);

t: período de resposta (ms)

**Figura 5 – Coleta de dados de umidade do solo com o HydroSense II**



**Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023**

### 2.3.6 Tratamentos do experimento

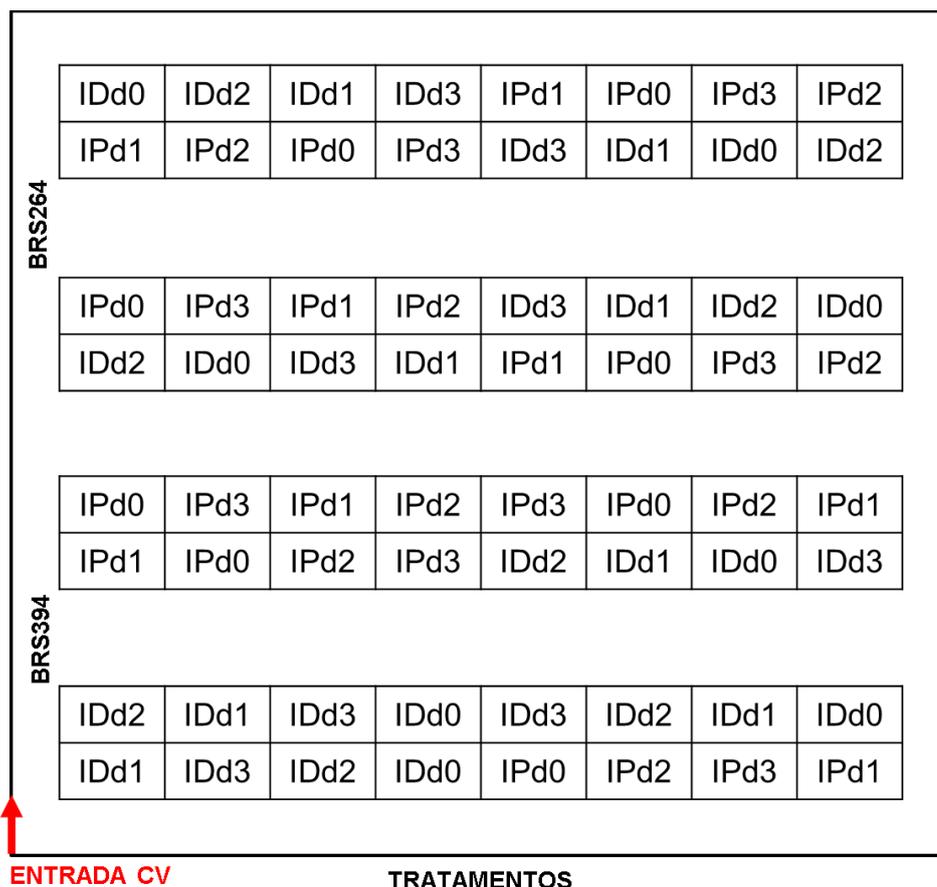
Para o experimento, foram utilizadas duas cultivares de trigo, a BRS 394 e BRS 264, avaliadas separadamente. A semeadura da BRS 394 foi realizada em 13 de outubro de 2022, e da BRS 264, em 7 de novembro de 2022. Foram colocadas 8

sementes por vaso, a 2 cm de profundidade. A emergência das plântulas ocorreu aos seis dias após a semeadura. Aos 7 dias após a emergência (DAE), foi realizado o desbaste, permanecendo 4 plantas por vaso.

Em ambas as cultivares, dois manejos de irrigação foram realizados. A irrigação plena ocorreu durante todo o ciclo da cultura, com 4 emissores por vaso. A irrigação com déficit foi realizada com a interrupção da irrigação no estágio de aparecimento da folha bandeira e na maturação.

Também, para ambas as cultivares, foram avaliadas quatro doses de hidrogel, correspondentes à aplicação de 0, 1, 3 e 5 g L<sup>-1</sup> de solo. Na camada de 10 cm de solo do vaso correspondendo a um volume de 6,15 L de solo, as quantidades de hidrogel de 0, 6,15, 18,45 e 30,75 g foram aplicadas e misturadas ao solo. A distribuição dos tratamentos pode ser observada no croqui esquemático representado na figura 6.

**Figura 6 – Croqui do experimento na casa de vegetação**

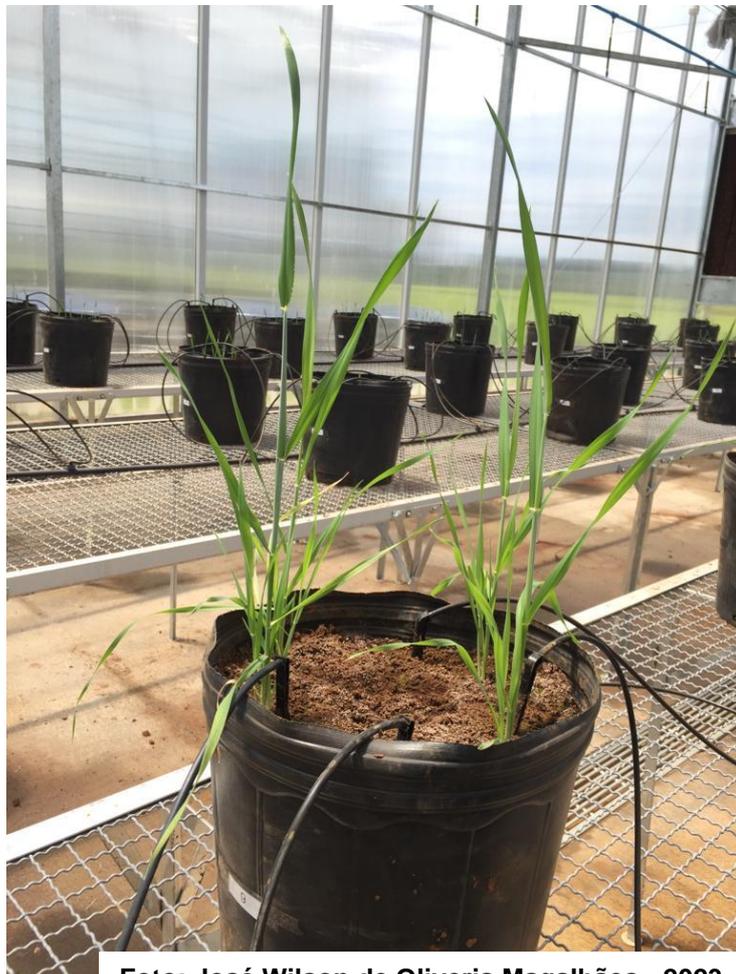


Fonte: Magalhães (2023).

### 2.3.7 Irrigação com déficit

O início do manejo de irrigação com déficit ocorreu na aparição da folha bandeira, aos 33 e 31 DAE (BRS 394 e BRS 264, respectivamente), com a interrupção da irrigação. A irrigação foi novamente realizada na fase de enchimento de grãos (41 e 44 DAE) e interrompida novamente aos 55 e 57 DAE, respectivamente para BRS 394 e BRS 264, até a colheita.

**Figura 7 – Plantas no estágio do surgimento da folha bandeira**



**Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023**

### 2.3.7 Coleta de dados e colheita

Ao final do período sem irrigação, foram realizadas na folha bandeira as medidas do teor foliar de clorofila utilizando o medidor portátil de clorofila ClorofiLOG CFL 1030 da Falker® e abertura estomática com o auxílio do porômetro foliar da METER Group®.

A medição da termografia infravermelho foi realizada em casa de vegetação contento os dois tratamentos na mesma imagem. A câmera utilizada foi da marca FLIR e modelo T-420 fixada em um tripé, de maneira que a distância até o chão fosse equivalente a 1,5 m. As medições foram iniciadas às 8:30 da manhã. Para a padronização da medição, os vasos foram posicionados sempre no mesmo local. Para a realização das medições, foram inseridos dados de entrada como a altura da câmera até o chão equivalente a 1,5 m; temperatura ambiente; umidade relativa e emissividade da planta equivalente a 0,96. Os dados de temperatura e umidade foram obtidos com auxílio de um aparelho termo-higrômetro da marca Prolab.

As imagens térmicas foram processadas no programa Flir Thermal Studio, na versão livre. Cada imagem termográfica foi dividida em duas áreas de avaliação (irrigação plena ao lado de irrigação com déficit, ambos com a mesma dose de hidrogel). Os dados foram adicionados em uma planilha, subdivididos em temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima de cada área de cada tratamento. Para minimizar o efeito da variação do valor da temperatura diária, para todos os valores de temperatura foi retirado o gradiente da temperatura ambiente, como indicado pela equação abaixo.

$$T = \frac{(\text{Temperatura da área} - \text{Temperatura ambiente})}{\text{Temperatura ambiente}} \quad (4)$$

T: Temperatura da planta (°C);

Na colheita (68 e 64 DAE, respectivamente para BRS 394 e BRS 264) foram mensurados a altura das plantas (do colón até a última espiguetas, em cm) e a contagem do número de perfilhos das plantas, e em seguida, a parte aérea do trigo foi colhida, armazenada em sacos de papel e colocada para secagem em estufa de circulação por 60°C por 24 h. Posteriormente, foram realizadas a determinação da massa seca total da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ), massa seca de grãos por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ), massa seca de grãos por espiga ( $\text{g espiga}^{-1}$ ), número de grãos por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ), massa seca de 1000 grãos (g), índice de colheita (%), número de espiguetas por espiga e porcentagem de espiguetas férteis (%).

**Figura 8 – (A) Captura de imagens térmicas com câmera termográfica; (B) Coleta de dados de abertura estomática; (C) Colheita, identificação e separação do material; (D) Material em estufa de circulação**

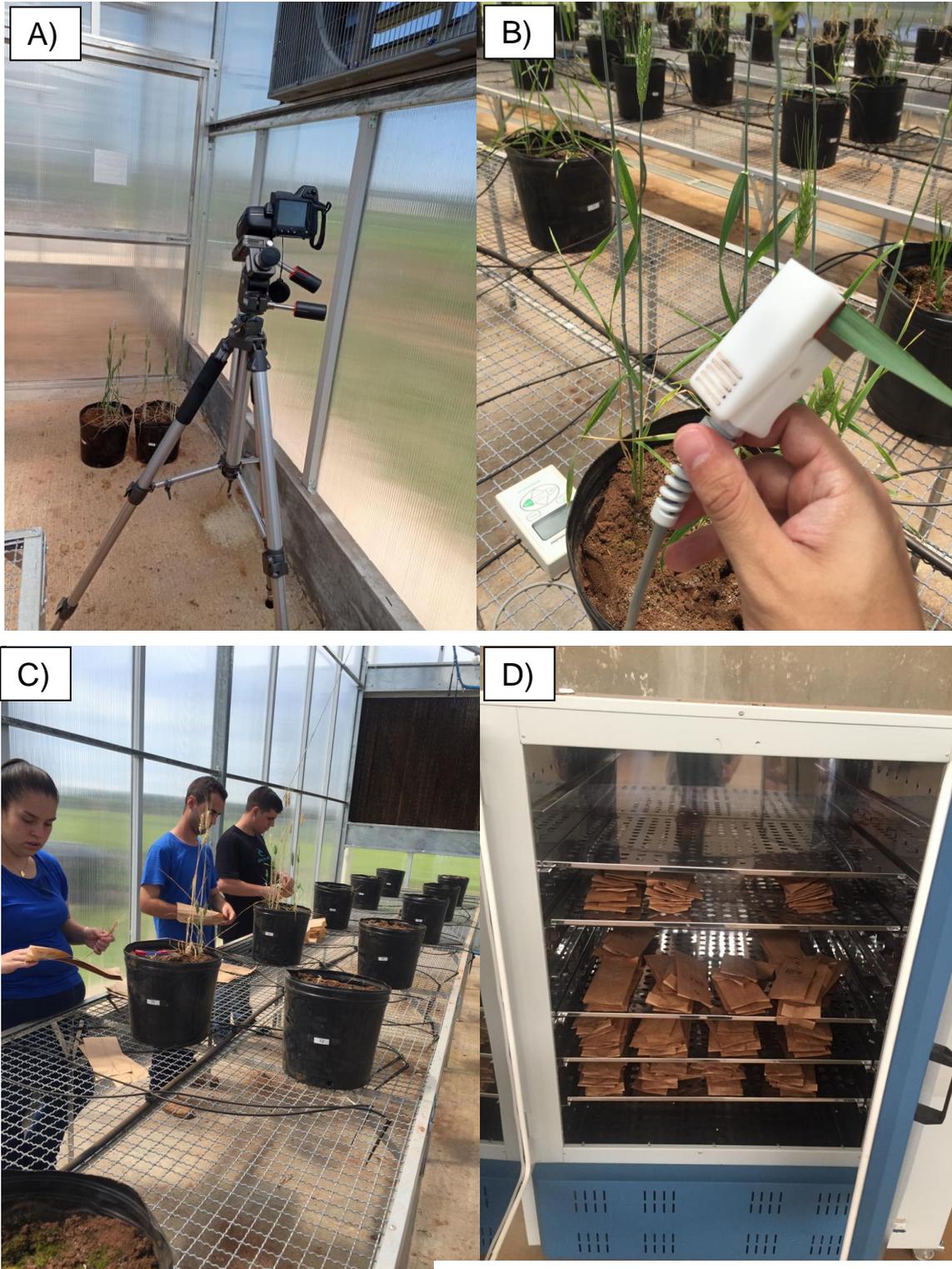


Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023

### 2.3.8 Tratamento dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e aos testes de comparação de médias de Tukey utilizando o software estatístico AgroEstat®, obedecendo o delineamento experimental inteiramente casualizado, com fatorial de 2 x 4, com 4 repetições, totalizando 32 vasos por cultivar. O teste de normalidade de Shapiro- Wilker foi realizado utilizando o software MiniTab® versão 19.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A duração de todo o ciclo e a lâmina de irrigação aplicada para cada cultivar, juntamente com o estágio de desenvolvimento da cultura, estão discriminados nas tabelas 8 e 9.

**Tabela 8 – Número de dias para cada estágio de desenvolvimento das cultivares**

Cultivar	Semeadura	Afilhamento	Alongamento	Espigamento /Florescimento	Maturação	Total
BRS* 394	13/10/2022	28	20	18	8	74
BRS* 264	7/11/2022	28	19	17	6	70

\*emergência ocorreu seis dias após a semeadura em ambas as cultivares.

**Tabela 9 – Lâmina de irrigação (mm) aplicada e manejo de irrigação realizado em cada cultivar de trigo**

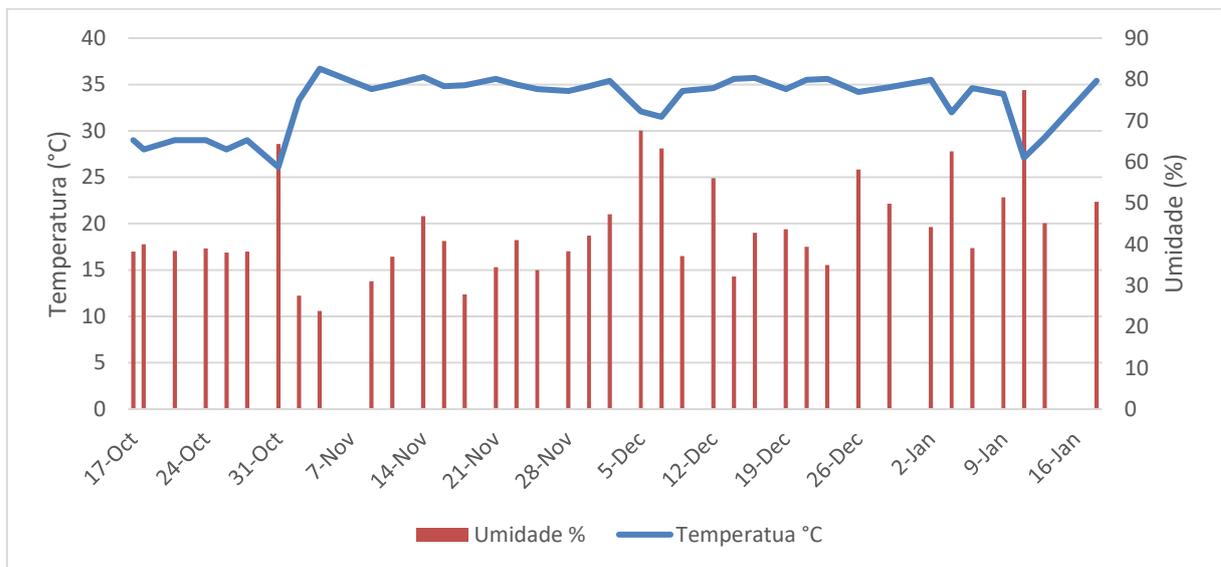
Cultivar	Irrigação	Afilhamento	Alongamento	Espigamento/ Florescimento	Maturação	Total
BRS 394	Plena	72	88	34	8	202
BRS 394	Déficit	72	57	34	0	163
BRS 264	Plena	68	72	38	6	184
BRS 264	Déficit	68	35	38	0	141

As cultivares se desenvolveram a ponto de reduzir a duração de seu ciclo estimado entre 90 à 100 dias para 74 e 70 dias para a cultivar BRS 394 e BRS 264, respectivamente. Corrêa (2018) em análise de 30 cultivares de trigo em casa de vegetação, constatou a um encurtamento no ciclo da cultura quando submetido a condições de estresse hídrico (com o corte da irrigação no emborrachamento até final

da antese) e estresse térmico (temperatura entre 25°C e 35°C), chegando à média de 69 dias de ciclo.

Na casa de vegetação, a temperatura do ar variou entre 26 a 36,7°C e a umidade relativa do ar variou entre 23,8 a 77,4%, conforme mostra a figura 9.

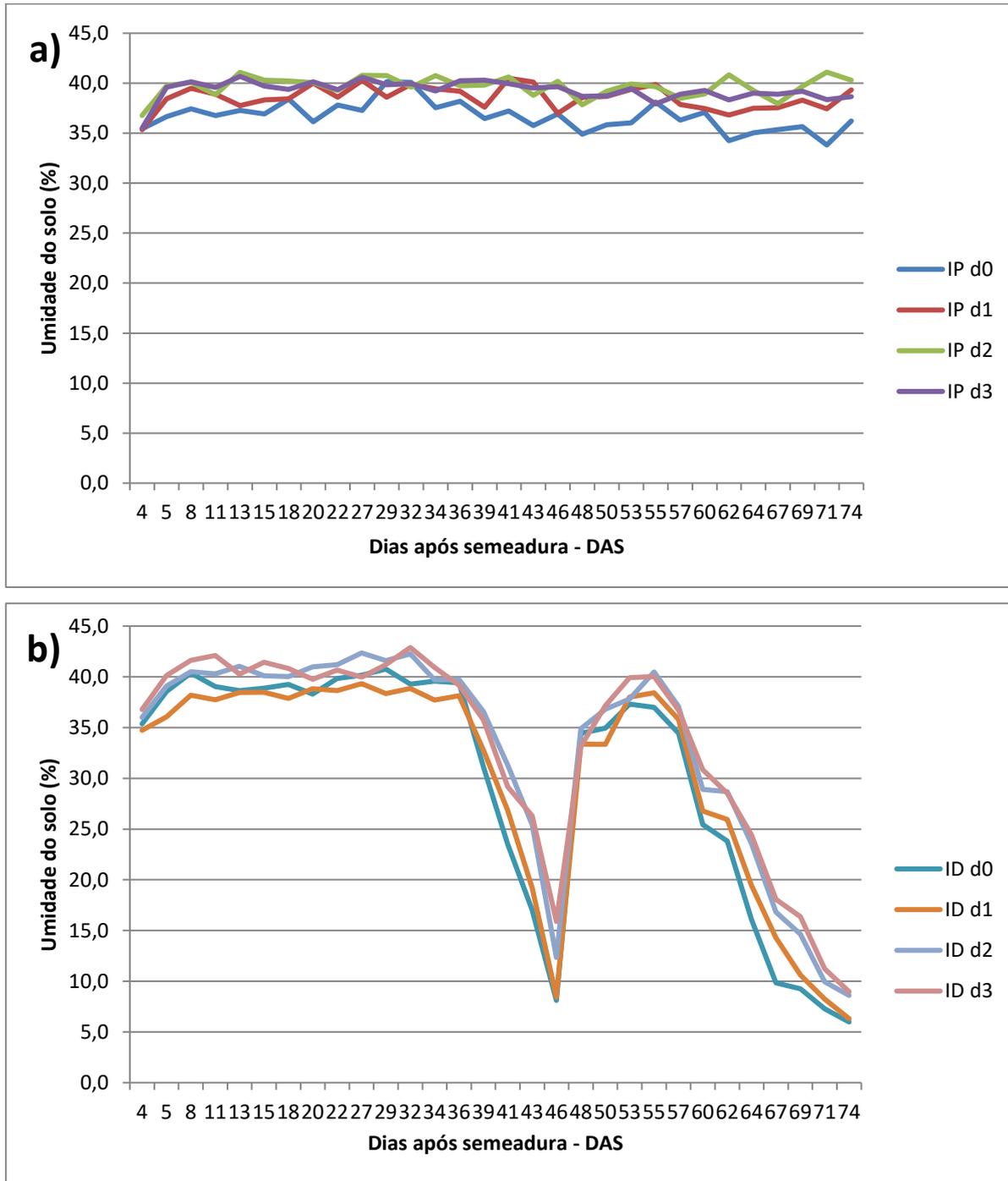
**Figura 9 – Temperatura média e umidade relativa do ar na casa de vegetação utilizada para realização do experimento com aplicação de doses de hidrogel em cultivares de trigo sob diferentes manejos de irrigação**



Fonte: Magalhães (2023).

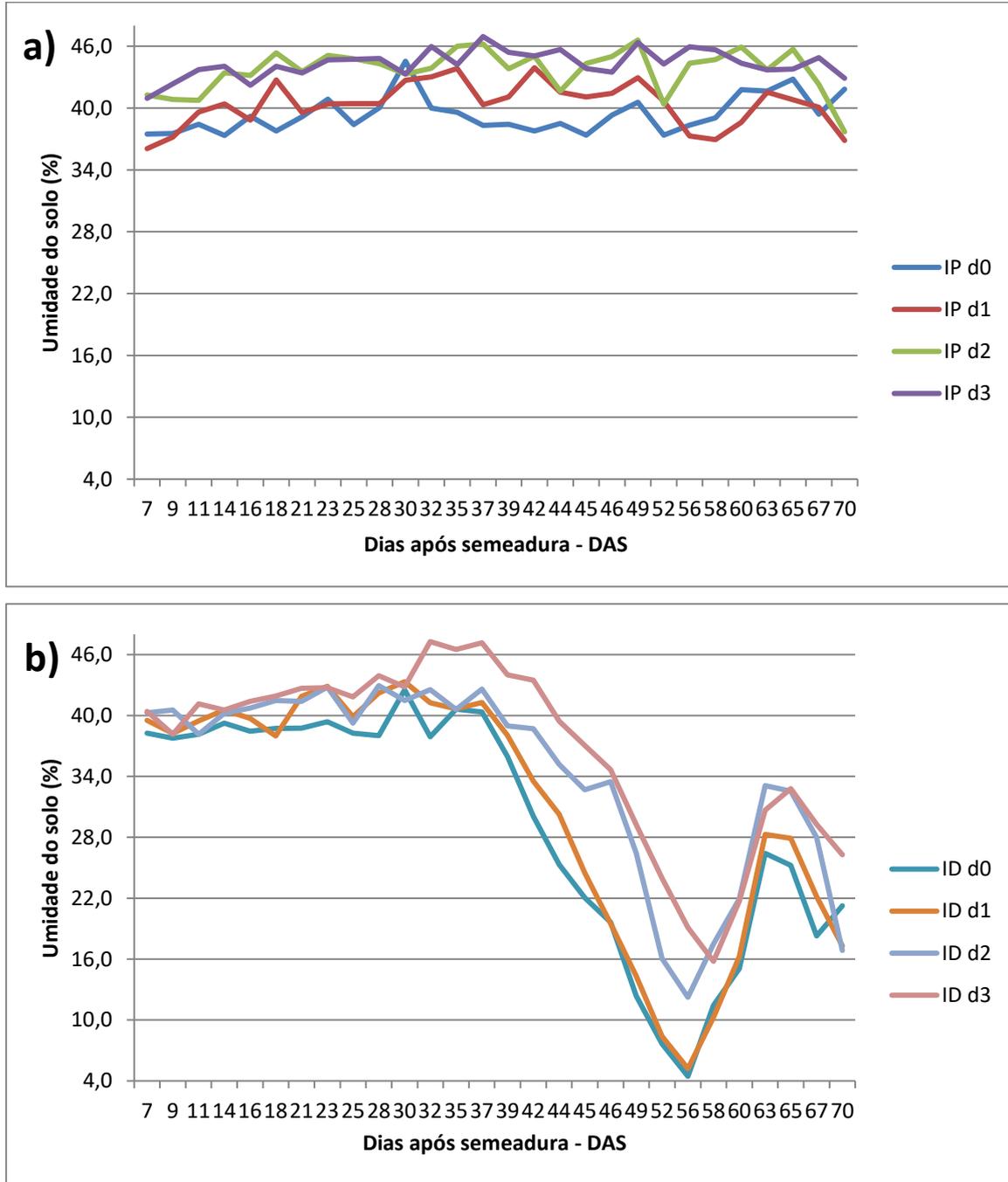
O monitoramento da umidade dos vasos para as cultivares BRS 394 (Figura 10) e BRS 264 (Figura 11) mostra a diferença de valores mediante a dose de hidrogel. Tal diferença se torna mais perceptível quando ocorre a interrupção da irrigação para o tratamento com déficit hídrico, com os vasos que tem maior dose apresentando valores superiores de umidade do solo. Os resultados são semelhantes ao de GEESING & SCHMIDHALTER (2004) utilizando doses similares de hidrogel (0, 1, 3, 5 g L<sup>-1</sup>) em solo, que observaram aumentos na capacidade de retenção de água em solos com doses 3 e 5 g L<sup>-1</sup>.

**Figura 10 – Umidade do solo durante o ciclo da cultura nos tratamentos de doses de hidrogel e irrigação plena (a) e irrigação com déficit (b), da cultivar de trigo BRS 394**



Fonte: Magalhães (2023).

**Figura 11 – Umidade do solo durante o ciclo da cultura nos tratamentos de doses de hidrogel e irrigação plena (a) e irrigação com déficit (b), da cultivar de trigo BRS 264**



Fonte: Magalhães (2023).

Os resultados das análises de variância para abertura estomática, temperatura média da planta e índice de clorofila total para as cultivares BRS 394 e BRS 264 estão representadas nas tabelas 10 e 11, respectivamente.

**Tabela 10 – Análise de variância da abertura estomática, temperatura média da planta e índice de clorofila total para a cultivar BRS394**

Fatores	GL	Abert. Estomática		Temp. Média		Clorofila total	
		QM	F	QM	F	QM	F
Irrigação	1	19149,24	3,29*	5,52	6,07*	0,06	0,00ns
Hidrogel	3	5412,24	0,93ns	0,01	0,01ns	19,40	0,68ns
Int. Irrigação x Hidrogel	3	2675,00	0,46ns	0,02	0,02ns	30,30	1,06ns
Resíduo	24	5826,12		0,91		28,61	
CV (%)		19,67		3,28		18,06	

CV = coeficiente de variação (%), GL = graus de liberdade, \* = nível de significância de 5%, \*\* = nível de significância de 1% e ns = não significativo.

**Tabela 11 – Análise de variância da abertura estomática, temperatura média da planta e índice de clorofila total para a cultivar BRS264**

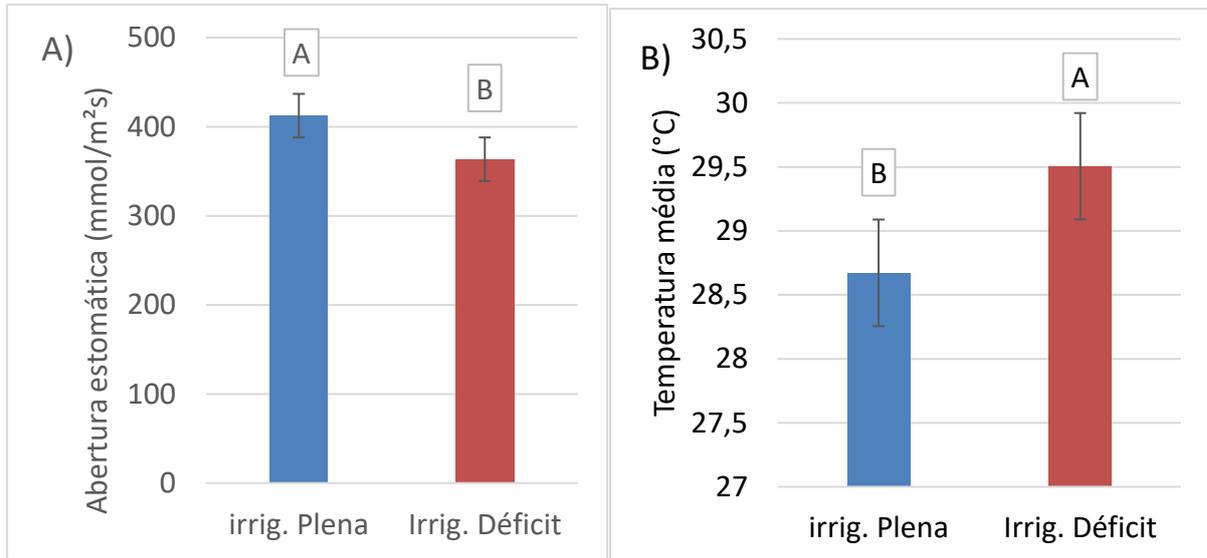
Fatores	GL	Abert. Estomática		Temp. Média		Clorofila total	
		QM	F	QM	F	QM	F
Irrigação	1	38565,58	5,61*	7,80	25,03**	14,19	0,35ns
Hidrogel	3	35472,59	0,93ns	0,16	0,54ns	41,45	1,01ns
Int. Irrigação x Hidrogel	3	1790,62	0,26ns	0,03	0,12ns	130,28	1,17ns
Resíduo	24	6870,04		0,31		41,12	
CV (%)		17,77		1,97		24,64	

CV = coeficiente de variação (%), GL = graus de liberdade, \* = nível de significância de 5%, \*\* = nível de significância de 1% e ns = não significativo.

A abertura estomática e temperatura média das plantas de ambas as cultivares apresentaram respostas aos tratamentos de irrigação, ao nível de significância de 5%. Não houve resposta para o índice de clorofila total. As médias foram submetidas ao

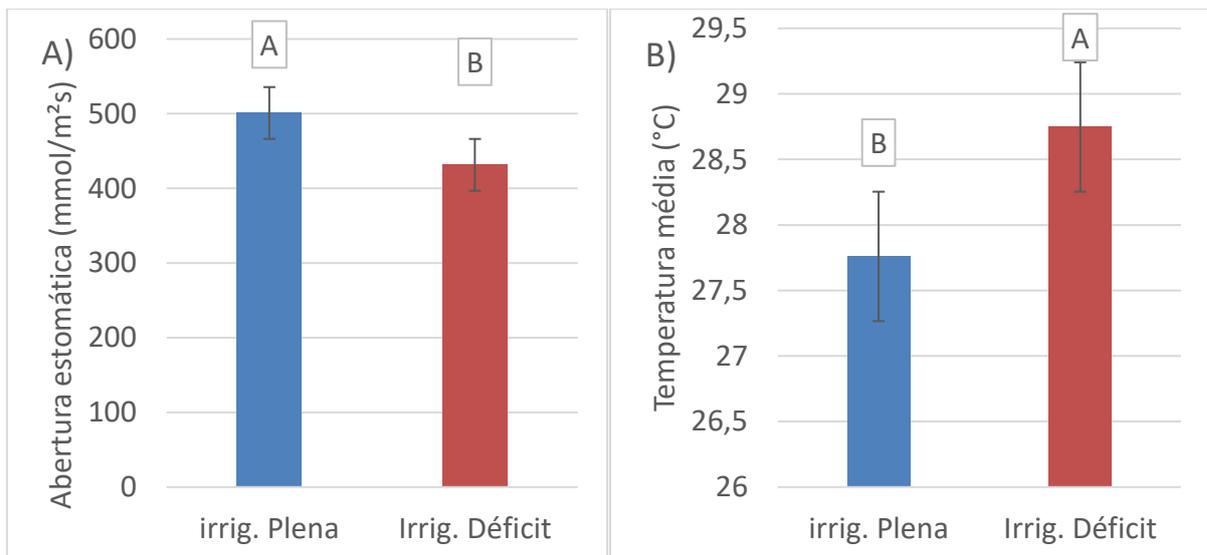
teste de Tukey ao nível de significância de 5% e estão apresentadas nas figuras 12 e 13.

**Figura 12 – (A) Médias da abertura estomática BRS 394; (B) Médias da temperatura média da planta BRS 394**



Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente segundo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

**Figura 13 – (A) Médias da abertura estomática BRS 264; (B) Médias da temperatura média da planta BRS 264**



Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente segundo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Em ambas as cultivares a abertura estomática refletiu diretamente na temperatura média da planta. O tratamento de irrigação plena apresentou uma maior abertura

estomática, favorecendo as trocas gasosas da planta e a manutenção da sua temperatura interna. O tratamento de irrigação com déficit limitou as trocas gasosas de planta, fazendo com que sua temperatura interna ficasse elevada. Em ambas as cultivares a diferença na temperatura do dossel das plantas foi em torno de 1°C.

Resultados similares foram observados em estudo de Duan et al. (2018), no qual as plantas de trigo sob condições de estresse hídrico apresentaram uma redução na transpiração, ocasionada pelo fechamento dos estômatos e que provocou a diminuição da transpiração, causando o aumento da temperatura do dossel da planta. Para um aumento de 1°C na temperatura do dossel da planta, estima-se a diminuição da transpiração em 10% (Helyes et al., 2010). Tal diferença na temperatura média da planta pode ser observada pela imagem térmica na figura 14.

**Figura 14 – Imagem térmica capturada por meio de uma câmera termográfica**

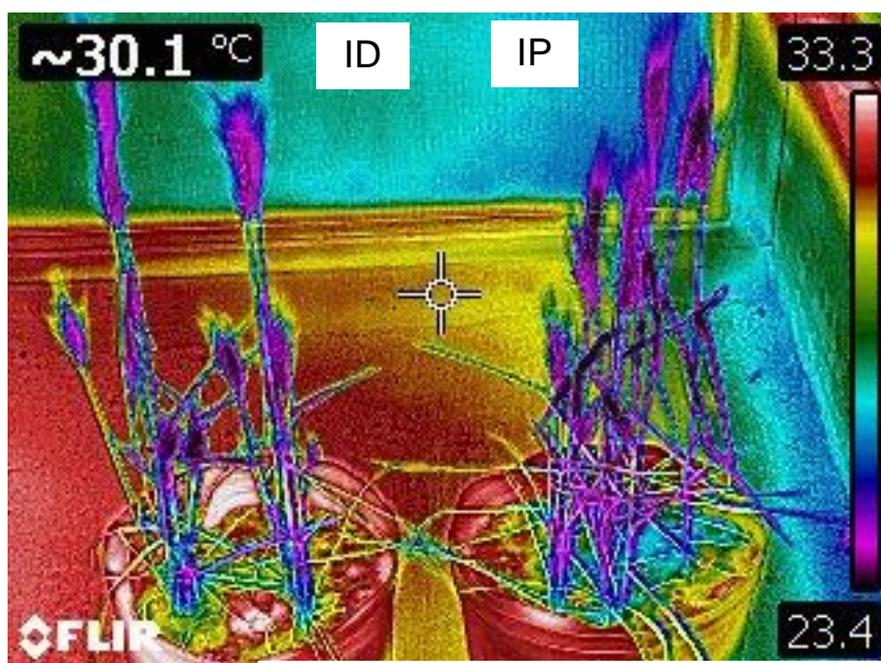


Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023

Mediante a análise de variância das cultivares de trigo BRS 394 e BRS 264, ambas apresentaram significância para os fatores de produção massa seca de grãos por espiga (MSGE), índice de colheita (IC), espiguetas férteis e altura das plantas (%EF). A BRS 394 apresentou resultado significativo ( $p < 0,05$ ) para o número de perfilhos (NPer). A BRS 264 apresentou significância para massa seca total da parte aérea (MSTPA), massa seca de grãos por planta (MSGP) e massa seca de 1000 grãos

(MSMG). As análises de variância das respectivas cultivares podem ser observadas nas tabelas 12 e 13.

**Tabela 12 – Análise de variância dos fatores de produção e morfológicos para a cultivar BRS 394**

Fatores	GL	MSGE		IC		%EF		ALT		NPer	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Irrigação	1	0,73	5,65*	761,76	11,19**	5919,94	7,46**	12,12	0,49ns	0,99	1,01ns
Hidrogel	3	0,43	3,31*	144,45	2,12ns	2518,86	3,17*	109,39	4,39**	5,16	5,21**
Int. Irrigação x Hidrogel	3	0,50	3,87*	309,72	4,55**	1990,67	2,51ns	1,49	0,06ns	0,26	0,27ns
Résiduo	24	0,13		68,05		793,88		24,93		0,98	
CV (%)		31,44		27,41		30,76		9,17		29,92	

CV = coeficiente de variação (%), GL = graus de liberdade, MSGE = massa seca de grãos por espiga (g), IC = índice de colheita (%), %EF = espiguetas férteis (%), ALT = altura da planta (cm), NPer = número de perfilhos por planta. \* = nível de significância de 5%, \*\* = nível de significância de 1% e ns = não significativo.

**Tabela 13 – Análise de variância dos fatores de produção e morfológicos para a cultivar BRS 264**

Fatores	GL	MSTPA		MSGP		MSGE		MSMG		IC		%EF		ALT	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Irrigação	1	0,16	0,17ns	0,77	0,78ns	0,63	4,52*	271,38	0,99ns	1617,8	5,70*	8481,55	8,05**	63,28	1,43ns
Hidrogel	3	0,64	0,67ns	5,24	5,28**	0,96	6,90**	1211,89	4,42**	1801,27	6,35**	9698,12	9,21**	57,3	1,29ns
Int.															
Irrigação x Hidrogel	3	4,25	4,46**	4,15	4,18**	0,37	2,65ns	1132,57	4,13**	845,27	2,98*	3081,72	2,93*	203,23	4,58**
Résiduo	24	0,95		0,99		0,14		274,07		283,61		1053,19		44,32	
CV (%)		44,43		38,16		36,95		30,27		34,25		36,7		12,38	

CV = coeficiente de variação (%), GL = graus de liberdade, MSTPA = massa seca total da parte aérea (g), MSGP = massa seca de grãos por planta (g), MSGE = massa seca de grãos por espiga (g), MSMG = massa seca de 1000 grãos, IC = índice de colheita (%), %EF = espiguetas férteis (%), ALT = altura da planta (cm), \* = nível de significância de 5%, \*\* = nível de significância de 1% e ns = não significativo.

A massa seca de grãos por espiga apresentou um comportamento distinto para as cultivares. A BRS 394 obteve maior média de MSGE no tratamento de irrigação com déficit comparado à irrigação plena, enquanto os valores médios das doses de hidrogel se diferenciaram da não aplicação do produto. O melhor resultado obtido por esta cultivar foi no manejo de irrigação com déficit à dose de hidrogel de 1 g L<sup>-1</sup>. A BRS 264 também obteve maior média no tratamento com irrigação com déficit, mas os valores de MSGE não diferenciaram entre si. No entanto, o aumento da dose de hidrogel no tratamento irrigação plena reduziu os valores de MSGE significativamente.

**Tabela 14 – Massa seca de grãos por espiga (g) para as cultivares BRS 394 e BRS 264**

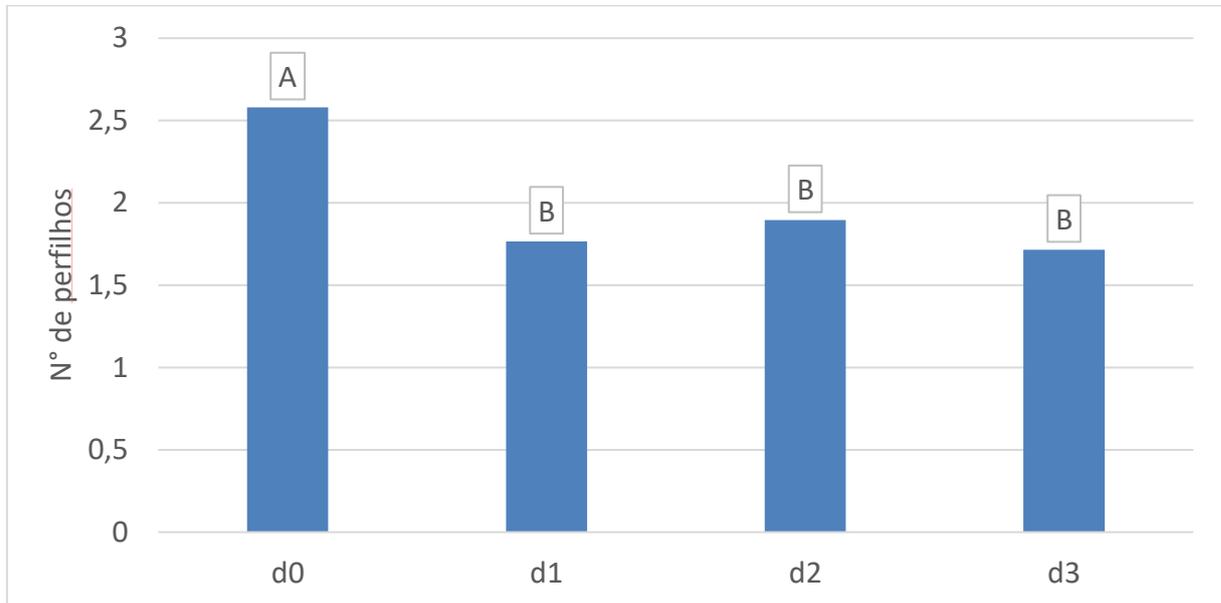
MSGE	BRS 394			BRS 264		
	IP	ID	média	IP	ID	média
d0	0,44 aA	0,74 aA	0,59 b	0,73 aA	0,67 aA	0,7 a
d1	0,75 aA	0,98 aA	0,865 a	0,46 aA	0,5 aA	0,48 ab
d2	0,53 aB	0,83 aA	0,68 ab	0,41 aA	0,53 aA	0,47 ab
d3	0,77 aA	0,54 aA	0,655 ab	0,05 bB	0,5 aA	0,275 b
média	0,6225 B	0,7725 A		0,4125 B	0,55 A	

Médias em mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula e médias em mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Em análise feita por Corrêa (2018), a exposição da planta de trigo à situação de estresses hídrico e térmico impactou diretamente nos fatores de produção da cultura. A massa seca de grãos por espiga reduziu em 85,71% entre as plantas em condição controle e as plantas em estresse, variando de 0,56 g para 0,08 g de MSGE. O autor ainda avalia que o número de perfilhos viáveis formando espiga também teve comportamento semelhante, de 2,22 para 1,08, com uma redução de 51,35%.

O número de perfilhos viáveis não apresentou significância ao fator manejo de irrigação, mas apresentou ao fator dose de hidrogel. Assim, a não aplicação de hidrogel apresentou maior valor de perfilhos (2,58), diferenciando-se dos resultados com a aplicação do produto, os quais não diferenciaram entre si, conforme a figura 15.

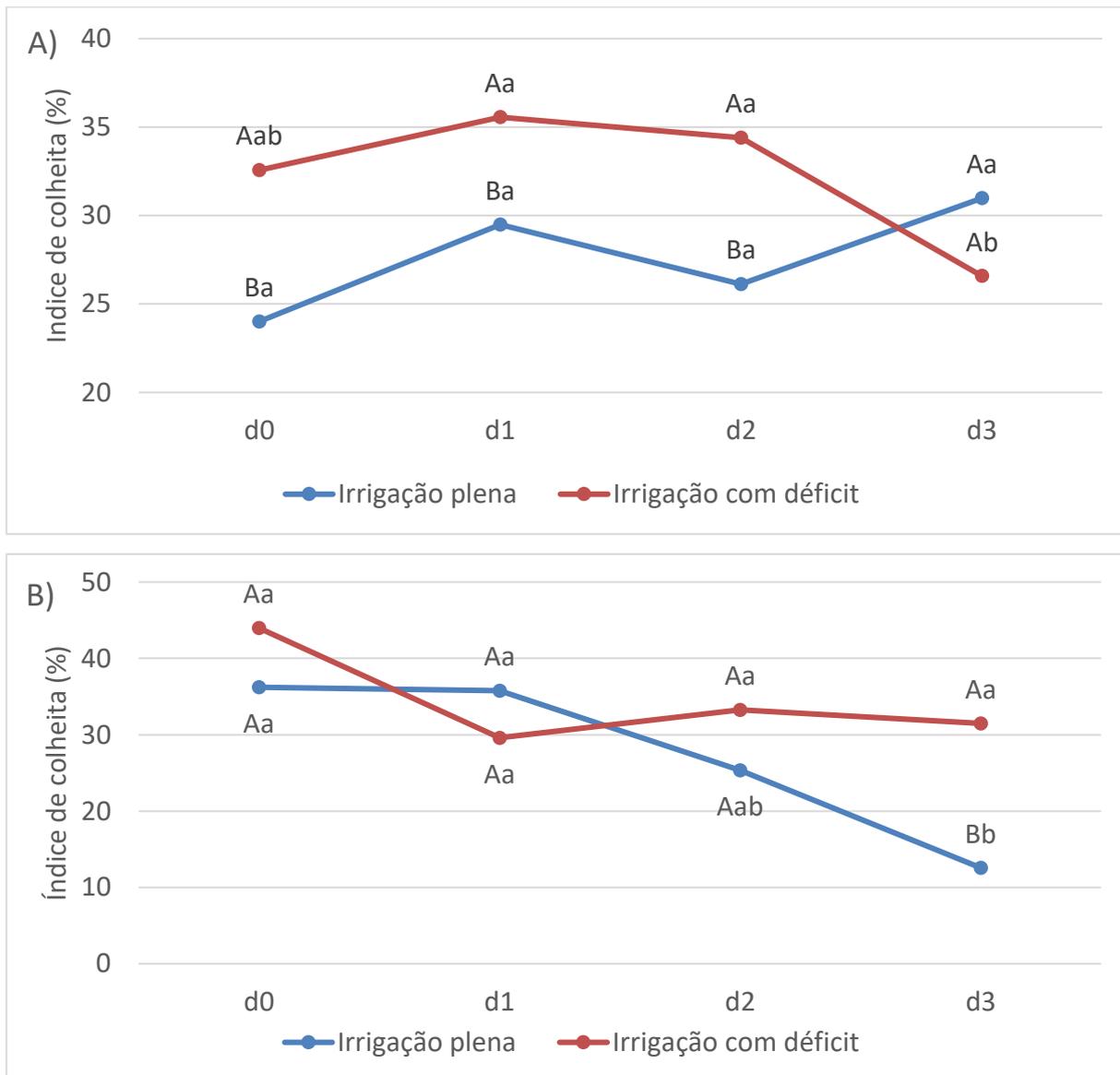
**Figura 15 – Número de perfilhos para a cultivar BRS 394 em função das doses de hidrogel**



d0 – sem hidrogel; d1 – 1 g L<sup>-1</sup>; d2 – 3 g L<sup>-1</sup>; d3 – 5 g L<sup>-1</sup>. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente segundo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Os resultados do índice de colheita da BRS 394 sob irrigação com déficit foram superiores quando comparados aos da irrigação plena, exceto na dose de 5 g L<sup>-1</sup>. A cultivar teve seu melhor resultado (35,56%) na irrigação com déficit com dose de 1 g L<sup>-1</sup> de hidrogel. A cultivar BRS 264 não apresentou diferenças entre os níveis de hidrogel. O tratamento irrigação plena apresentou comportamento linear até a dose de 1 g L<sup>-1</sup>, mas doses maiores afetaram negativamente o índice de colheita, conforme mostra a figura 16.

**Figura 16 – Índice de colheita (%) para as cultivares BRS 394 (A) e BRS 264 (B)**



Médias entre doses de hidrogel seguidas pela mesma letra minúscula e médias entre manejos de irrigação seguidas pela mesma letra maiúscula não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Guedes et al. (2021) observaram redução no índice de colheita da BRS 394 e BRS 264 quando induzidas à déficit hídrico (23% e 22%, respectivamente) a partir de tensão hídrica superior a 24kPa. Os autores ainda constataram que em tensões hídricas superiores a este valor, ocorreu a redução de características fitométricas e produtivas em ambas as cultivares.

A porcentagem de espiguetas férteis em ambas as cultivares foi influenciada pelo manejo de irrigação, e o valor médio da irrigação com déficit foi superior ao valor médio

da irrigação plena. A BRS 394 apenas se mostrou inferior sob a dose de 5 g L<sup>-1</sup>, e seu melhor resultado na irrigação com déficit foi na dose de 1 g L<sup>-1</sup> com valor de 88,26% de espiguetas férteis. A BRS 264 sob irrigação plena apresentou redução significativa de seus valores médios com a maior dose de hidrogel, enquanto que na irrigação com déficit não houve diferença significativa (Tabela 15).

**Tabela 15 – Porcentagem de espiguetas férteis (EF) para as cultivares BRS 394 e BRS 264**

EF (%)	BRS 394			BRS 264		
	IP	ID	média	IP	ID	média
d0	52,17 aB	76,23 abA	64,2 ab	69,85 aA	82,51 aA	76,18 a
d1	74,35 aA	88,26 aA	81,305 a	60,33 aA	61,78 aA	61,055 a
d2	57,17 aB	82,4 abA	69,785 ab	54,53 aA	60,63 aA	57,58 a
d3	65,58 aA	56,78 bA	61,18 b	11,64 bB	56,55 aA	34,095 b
média	62,3175 B	75,9175 A		49,0875 B	65,3675 A	

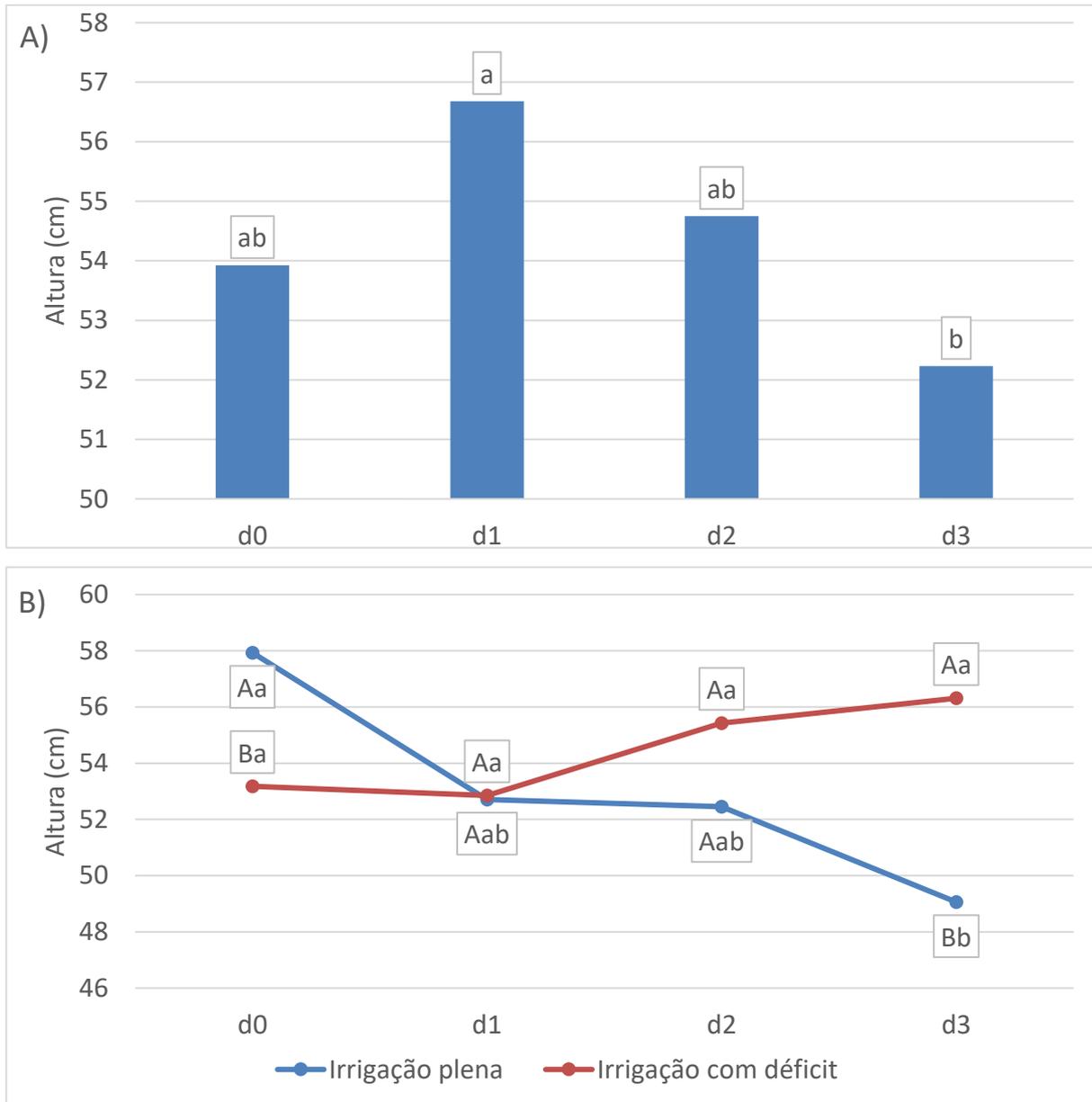
Médias em mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula e médias em mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

A porcentagem de espiguetas férteis (%EF) é afetada diretamente quando a planta de trigo é submetida a estresses hídrico e térmico segundo ensaios feitos por Corrêa (2018). Plantas de trigo sem estresse obtiveram 78,83% de espiguetas férteis, diferenciando significativamente do tratamento em estresse com média de 40,33%. A exposição do trigo ao estresse hídrico em estádios fenológicos sensíveis (emborrachamento e início do florescimento) refletiram diretamente na perda de potencial produtivo da cultura, sendo que a fertilidade das espiguetas é mais afetada pelo estresse hídrico do que pelo térmico.

A altura das plantas apresentou diferenças significativas, sendo que para a BRS 394 houve influência somente do fator dose de hidrogel, enquanto que para a BRS 264 houve a interação manejo de irrigação x dose de hidrogel. Para a BRS 394 as médias não se diferenciaram desde as plantas sem hidrogel até a dose de 3 g L<sup>-1</sup> (maior valor de 56,68 cm para dose de 1g L<sup>-1</sup>), mas diferenciaram-se da dose 5 g L<sup>-1</sup>. A altura da BRS 264 não se diferenciou com o aumento da dose de hidrogel na irrigação com déficit, ao contrário da irrigação plena, que apresentou um efeito negativo na altura das plantas com o aumento da dose do insumo. Entre os manejos

de irrigação, os maiores valores apareceram nas doses de 0 e 5 g L<sup>-1</sup> na irrigação plena (Figura 17).

**Figura 17 – Altura da planta (cm) para as cultivares BRS 394 (A) e BRS 264 (B)**



d0 – sem hidrogel; d1 – 1 g L<sup>-1</sup>; d2 – 3 g L<sup>-1</sup>; d3 – 5 g L<sup>-1</sup>. Médias entre doses de hidrogel seguidas pela mesma letra minúscula e médias entre manejos de irrigação seguidas pela mesma letra maiúscula não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

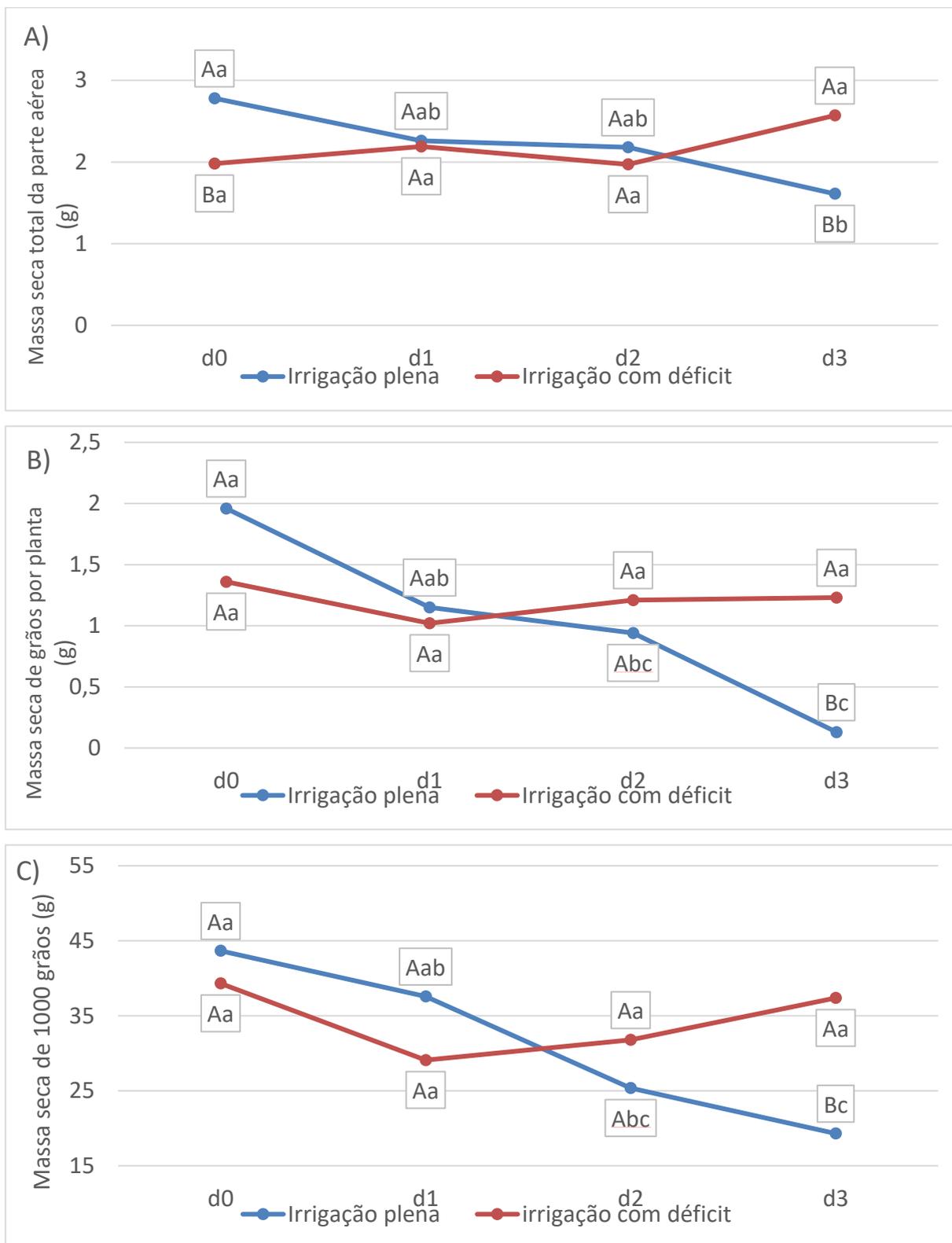
Ambas as cultivares apresentaram altura inferior a especificada por seus desenvolvedores, que é de 90 cm tanto para a BRS 394 (ALBRECHT et al., 2016) como para a BRS 264 (ALBRECHT et al., 2006).

Lustosa (2011) observou a redução de altura das plantas de trigo (de 102,7 cm para 66,7 cm) com a redução da lâmina de irrigação aplicada durante todo o ciclo da cultura (de 300 mm para 80 mm), e a baixa estatura da planta pode dificultar a colheita mecanizada. Corrêa (2018) também relatou que cultivares de trigo tiveram menor altura quando submetidos aos estresses hídrico e térmico, sendo a média da altura reduzida de 76,7 cm (controle) para 50,1cm (com estresse).

Santos et al. (2012) ao avaliarem três cultivares de trigo submetidas a irrigação durante todo ciclo e com indução de déficit hídrico no início do florescimento, observaram que a média de altura das plantas variou de 60,13 cm (sem déficit hídrico) para 57,07 cm (com déficit hídrico). Seus resultados refletem a influência do déficit hídrico aplicado em épocas de alta demanda de água pela cultura. Um fato que demonstra isso é o aumento nos valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do trigo a partir do estágio de alongamento até o início de enchimento de grãos (Guerra et al., 2003).

Na BRS 264 a massa seca total da parte aérea (MSTPA), a massa seca de grãos por planta (MSGP) e a massa seca de 1000 grãos (MSMG) apresentaram significância para a interação manejo de irrigação e dose de hidrogel. Todos estes não foram influenciados pelo manejo de irrigação e entre estes, MSGP e MSMG apresentaram respostas às doses de hidrogel (Tabela 13). Na irrigação com déficit, estes três fatores de produção não apresentaram diferença entre as doses de hidrogel. Na irrigação plena, os mesmos fatores apresentaram uma redução em seus valores com o aumento da dose de hidrogel. Os resultados da irrigação plena para os fatores MSTPA, MSGP e MSMG demonstram uma sensibilidade da cultivar BRS 264 ao excesso de umidade ocasionada pelo aumento da dosagem de hidrogel. Em relação a irrigação com déficit, a MSTPA foi maior na irrigação plena sob d0, e o oposto foi observado em d3. A MSGP e MSMG foram maiores na irrigação com déficit e sob a maior dose de hidrogel. Os resultados destes fatores de produção podem ser observados na figura 18.

**Figura 18 – Massa seca total da parte aérea (A), massa seca de grãos por planta (B) e massa de 1000 grãos (C) para a cultivar BRS 264**



d0 – sem hidrogel; d1 – 1 g L<sup>-1</sup>; d2 – 3 g L<sup>-1</sup>; d3 – 5 g L<sup>-1</sup>. Médias entre doses de hidrogel seguidas pela mesma letra minúscula e médias entre manejos de irrigação seguidas pela mesma letra maiúscula não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Em estudo realizado por Mamann et al. (2017) com doses de hidrogel (0, 30, 60, 90, 120 kg ha<sup>-1</sup>) na cultura do trigo, o aumento da dose de hidrogel demonstrou efeito negativo na produtividade de grãos somente na maior dose (120 kg ha<sup>-1</sup>), e para a produtividade de biomassa a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> obteve o melhor resultado com 9227 kg ha<sup>-1</sup>.

Preto et al. (2016) utilizando as mesmas doses observaram que a dose de hidrogel de 30 kg ha<sup>-1</sup> indicaram maior média de produtividade de grãos, enquanto que a produtividade de biomassa foi maior somente na dose mais elevada do polímero (120 kg ha<sup>-1</sup>).

Santos et al (2012) compararam a massa seca da parte aérea de cultivares de trigo sob irrigação plena e sob déficit hídrico no início do florescimento, e relataram médias de 23,14 g e 16,76 g, respectivamente.

A massa seca de 1000 grãos em plantas de trigo, observado por Santos et al (2012), apresentou uma redução significativa quando as plantas foram submetidas ao regime de déficit hídrico. Tais resultados corroboram com relatos de Moreira et al (1999) que observaram o efeito positivo da irrigação sobre a MSMG. Santos et al. (2012) ainda ressaltam que a ocorrência do déficit hídrico no início do florescimento causa uma menor produção de fitomassa e produção de grãos.

No final do ciclo das plantas de trigo na casa de vegetação, ficou evidenciado a desuniformidade nos estádios de desenvolvimento tanto entre plantas como entre a planta principal e perfilhos, a ponto de a espiga da planta principal encontrar-se no estágio completo de maturação com os grãos expostos, e os perfilhos apresentarem-se no início da maturação de suas espigas, com coloração ainda esverdeada (Figura 19).

Corrêa (2018) observou uma heterogeneidade na duração das fases de desenvolvimento do trigo quando submetido aos estresses hídrico e térmico, tanto entre repetições, como entre plantas de uma mesma parcela, bem como a ocorrência de espigas totalmente inférteis no tratamento com estresse térmico.

**Figura 19 – Desuniformidade de estádios de desenvolvimento da planta de trigo**



Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023

No tocante ao hidrogel, foi possível observar que após o umedecimento do solo pelo sistema de irrigação, os vasos nos quais foram aplicadas as doses de 3 e 5 g L<sup>-1</sup> apresentaram uma evidente expansão do solo devido ao intumescimento do insumo, visível na superfície do solo (Figura 20).

**Figura 20 – Comportamento do hidrogel após o umedecimento do solo, com visível intumescimento do insumo (indicado pela seta vermelha) nas doses de**

**3 e 5 g L<sup>-1</sup>**

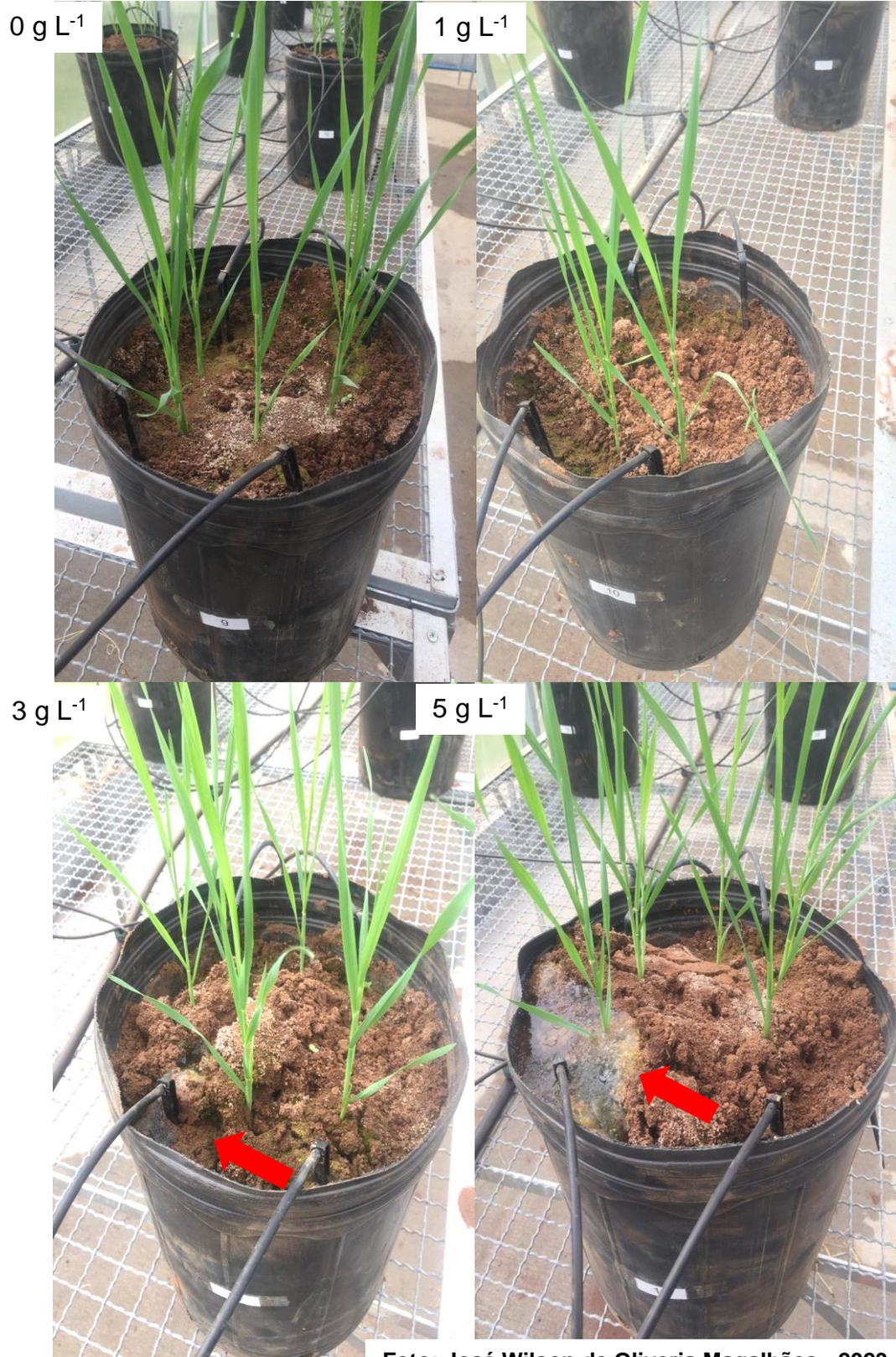


Foto: José Wilson de Oliveria Magalhães - 2023

O mesmo comportamento foi relatado por Mendonça et al. (2013) quando sua maior dose de hidrogel (12 g por vaso) provocou rachaduras no solo e exposição do material, o que poderia acarretar em perda do produto e possíveis prejuízos ao sistema radicular das culturas.

## 2.5 CONCLUSÕES

A cultivar BRS 394 obteve melhores respostas com a dose de 1 g L<sup>-1</sup> em seus fatores de produção, mesmo submetido a déficit hídrico.

A cultivar BRS 264 mostrou uma sensibilidade ao excesso de umidade no solo com a utilização do hidrogel.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, P. A. S. **Irrigação por sulcos com efluentes de fossa séptica biodigestor como fonte de nitrogênio na cultura do milho**. 2019. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, 2019.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília: ANA, 2018. 72p.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos Hídricos no Brasil. Informe 2014. Encarte Espacial sobre a Crise Hídrica**. Brasília: ANA. 2015. 30 p.
- ALBRECHT, J. C.; SOBRINHO, J. S.; SILVA, M. S.; CHAGAS, J. H.; CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; EICHELBERGER, L.; MIRANDA, M. Z.; ANDRADE, S. R. M.; SUSSEI, A. A.; DIANESE, A. C.; CASTRO, R. L.; FRONZA, V.; MORESCO, E. R. **Trigo BRS 394-nova cultivar para o cerrado**. Planaltina Embrapa Cerrados, 2016. 5p
- ALBRECHT, J.C.; SILVA, M.S. e; ANDRADE, J.M.V. de; SCHEEREN, P.L.; TRINDADE, M. da G.; SOARES SOBRINHO, J.; SOUSA, C.N.A. de; BRAZ, A.J.B.P.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q.; SOUSA, M.A. de; FRONZA, V.; YAMANAKA, C.H. **Trigo BRS 264: cultivar precoce com alto rendimento de grãos indicada para o Cerrado do Brasil Central**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 18p.
- AMIS – AGRICULTURAL MARKET INFORMATION SYSTEM. **Market monitor**, EUA v. 1, safra 2022/23, n. 5, monitoramento de produção junho, 2023. 17p.
- AOUADA, F. A.; MOURA, M. R.; FERNANDES, P. R. G.; RUBIRA, A. F.; MUNIZ, E.C. **European Polymer Journal**, v.41, n. 9, p. 2134-2141, 2005.
- BASSOI, L. H. Irrigação com deficit. In: Alysson Paolinelli; Durval Dourado Neto; Everardo Chartuni Mantovani. (Org.). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. 1ed.Piracicaba: ESALQ-USP, 2021, v. , p. 155-173
- BORTOLIN, A. **Desenvolvimento de nanocompósitos baseados em hidrogéis aplicados à liberação de nutrientes agrícolas**. 2014. 75 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2014.
- BORTOLIN, A.; SERAFIM, A. R.; AOUADA, F. A.; MATTOSO, L. H. C.; RIBEIRO, C. Macro and Micronutrient Simultaneous Slow Release from High-Swellable Nanocomposite Hydrogels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 3133-3140, 2016.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van.; CAMARGO, C. E. O.; Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 221-229. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- CHANGEZ M.; KOUL V.; DINDA, A. K., Efficacy of antibiotics-loaded interpenetrating network (IPNs) hydrogel based on poly (acrylic acid) and gelatin for treatment of

experimental osteomyelitis: in vivo study. **Biomaterials**, v. 26, n.14, p. 2095-2104, 2005.

CHOWDHURY, M. A.; HILL, D. J. T.; WHITTAKER, A. K.; BRADEN, M.; PATEL, M. P. NMR Imaging of the Diffusion of Water at 310 K into Semi-IPNs of PEM and Poly (HEMA-co-THFMA) with and without Chlorhexidine Diacetate. **Biomacromolecules**, v. 5, n. 4, p. 1405-1411, 2004.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 6 sexto levantamento, março 2023.

CORRÊA, A. A. P. **Desempenho de cultivares de trigo em condições de estresses térmico e hídrico**. 2018. 71p Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, 2018.

DRANSKI, J. A. L. **Sobrevivência e crescimento inicial de pinhão-mansão em função da época de plantio e do uso de hidrogel**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Marechal Cândido Rondon. 57 f., 2010.

DUAN, H.; CHASZAR, B.; LEWIS, J.D.; SMITH, R.A.; HUXMAN, T.E.; TISSUE, D.T. CO<sub>2</sub> and temperature effects on morphological and physiological traits affecting risk of drought-induced mortality. **Tree Physiology**, v. 38, n. 8, p. 1138–1151, 2018.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: Funep, 2008. 338p

FUMIS, T.F.; PEDRAS, J.F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.4, p.449-453, 2002.

GEESING, D.; SCHMIDHALTER, U. Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat. **Soil use and management**, v. 20, n. 2, p. 207-209, 2004.

GUARIENTI, E. M.; CIACCO, C. F.; CUNHA, G. R.; DEL DUCA, L. J. A.; CAMARGO, C. M. O. Efeitos da precipitação pluvial, da umidade relativa do ar e de excesso e déficit hídrico do solo no peso do hectolitro, no peso de mil grãos e no rendimento de grãos de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.412-418, 2005.

GUEDES, P. O. A. S.; SILVA, T. J. A.; CANEPPELE, C.; DOURADO, L. G. A.; CASTAÑÓN, T. H. F. M. O trigo do Cerrado brasileiro sob cinco restrições hídricas. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.10, p.47-55, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0005>

GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma Cerrado. Brasília: Embrapa Cerrados, 2003. 15p. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, v. 100.

GUILHERME, M. R.; REIS, A. V.; TAKAHASHI, S. H., RUBIRA, A. F.; FEITOSA, J. P. A.; MUNIZ, E.C. Synthesis of a novel superabsorbent hydrogel by

copolymerization of acrylamide and cashew gum modified with glycidyl methacrylate. **Carbohydrate Polymers**, v.61, n. 4, p. 464-471, 2005.

HELYES, L; BÓCS, A; PÉK, Z. Effect of water supply on canopy temperature, stomatal conductance and yield quantity of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **International Journal Horticultural Science and Technology**, v. 16, n. 5, p. 13–15. 2010

HOFFMAN, A. S. Hydrogels for biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v.64, p. 18-23, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2023**. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IEA – INSTITUO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatística da produção paulista**. São Paulo. 2023.

KHARE A. R.; PEPPAS, N. A. Swelling/deswelling of anionic copolymer gels. **Biomaterials**, v. 16, n. 7, p. 559-567, 1995.

KLAIC, R.; GUIMARÃES, G. G. F.; GIROTO, A. S.; BERNARDI, A. C. C.; ZANGIROLAMI, T. C.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C. S. Synergy of *Aspergillus niger* and components in biofertilizer composites increases the availability of nutrients to plants. **Current Microbiology**, v. 78, p. 1529-1542, 2021.

LIMA, E. F.; SANTANA, J. S.; MORAES, R. G. S.; FONSECA, B. L. A. S.; OLIVEIRA, P. L. de S.; SILVA, C. M. da.; Desempenho de equações bioclimáticas para estimativa da evapotranspiração de referência em Conceição do Araguaia/PA. **Revista SUSTINERE**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 96-105, jan-jun, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.12957/sustinere.2019.43416>.

LORENZO, C. A.; CONCHEIRO, A.; DUBOVIK, A. S.; GRINBERG, N. V.; BUROVA, T. V.; GRINBERG, V. Y. Temperature-sensitive chitosan-poly (N-isopropylacrylamide) interpenetrated networks with enhanced loading capacity and controlled release properties. **Journal of Controlled Release**, v. 102, n. 3, p. 629-641, 2005.

LUSTOSA, A. F. L. **Respostas biométricas ao manejo do solo e da água, em dois genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) no Brasil Central**. 2011. 34f. Monografia (Graduação em Agronomia) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília – DF. 2011.

MAGALHÃES, A. S. G.; FEITOSA, J. P. A. Efeito do grau de reticulação e concentração de monômeros no intumescimento e secagem de hidrogeis superabsorventes de acrilamida e acrilato de sódio. In: **Anais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros, Águas de LindóiaSP**. p.403-404, 2005.

MAMANN, A. T. W.; BREZOLIN, A. P.; SCREMIN, A. H.; REGINATTO, D. C.; HENRICHSEN, L.; DORNELLES, E. F.; SILVA, J. A. G. Lógica fuzzy na simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v.6, n.1, 7f., 2018.

MELO, R. A. C.; JORGE, M. H. A.; BORTOLIN, A.; BOITEUX, L. S.; OLIVEIRA, C. R.; MARCONCINI, J. M. Growth of tomato seedlings in substrates containing a

nanocomposite hydrogel with calcium montmorillonite (NC-MMt). **Horticultura Brasileira**, v. 37, p. 199-203, 2019.

MENDONÇA, T. G.; URBANO, V. R.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. **Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.2, p.87-92, 2013.

MOREIRA, M. A.; ANGULO FILHO, R.; RUDORFF, B. F. T. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agricola**, v.56, p.597-603, 1999.

MOURA, M. R.; GUILHERME, M. R.; CAMPESE, G. M.; RADOVANOVIC, E.; RUBIRA, A. F.; MUNIZ, E.C. Porous alginate-Ca<sup>2+</sup> hydrogels interpenetrated with PNIPAAm networks: Interrelationship between compressive stress and pore morphology. **European Polymer Journal**, v. 41, n. 12, p. 2845-2852, 2005.

PEPPAS, N. A.; BURES, P.; LEOBANDUNG, W.; ICHIKAWA, H.; Hydrogels in pharmaceutical formulations. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v.50, n. 1, p. 27-46, 2000.

PIMENTEL, J. N. F. **Impacto da escassez hídrica na agricultura irrigada e estratégia de cultivo e manejo da irrigação em condições de déficit hídrico**. 2021. 58 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, Ceará 2021.

PRACIANO, A. C.; GORAYEB, A.; MONTEIRO, L. de A. Estudo de viabilidade do uso de energia eólica para irrigação da bananicultura do Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.13, n.5, p. 3691 - 3702, Fortaleza, CE, 2019. ISSN: 1982-7679 (On-line). DOI: 10.7127/rbai.v13n5001140.

PRETTO, R., BANDEIRA, L. M., DA SILVA, D. R., ARENHARDT L. G., de MAMANNAND, A. T. W.; DA SILVA, J. A. G. A Tecnologia do hidrogel na eficiência de uso do nitrogênio sobre a produtividade de biomassa e grãos de trigo em sistema de rápida liberação de N-residual. In: Seminário de Inovação e Tecnologia - Salão do Conhecimento: Ciência Alimentando o Brasil, 2016, São Paulo. **Anais**. Unijuí: 2016.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONEP, A. D.; MARCHESE, J. A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.6, p.839-846, 1998.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.836-842, 2012.

SARTORELLI, P. A. R.; SILVA, J. M. S.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E.; ÁVILA, E. Q. Rebrotas após fogo de espécies arbóreas de diferentes grupos fenológicos foliares em cerrado stricto sensu. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça. n. 10, 2007.

WEI, H.; HE, J.; SUN, L.; ZHU, K.; FENG, Z. Gel formation and photopolymerization during supramolecular self-assemblies of  $\alpha$ -CDs with LA-PEG-LA copolymer end-

capped with methacryloyl groups. **European Polymer Journal**, v. 41, n. 5, p. 948-957, 2005.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A utilização do hidrogel para promover o aumento do armazenamento de água no solo, especificamente na zona radicular das plantas, apresenta bom potencial. Necessita-se de um conhecimento detalhado sobre o seu comportamento em diferentes tipos de solo e em diferentes condições de umidade do solo (irrigado e não irrigado), pois a utilização do hidrogel poderá ser feita com o intuito de minimizar os efeitos da falta de água em um cultivo de sequeiro e até possibilitar a redução da aplicação de água por um sistema de irrigação quando da ocorrência de uma restrição hídrica. Ao mesmo tempo, as respostas das espécies cultivadas devem ser conhecidas. Também é necessário o conhecimento do tempo da atividade do hidrogel no solo em condições irrigadas e não irrigadas.

## REFERÊNCIAS

- ARENHARDT, E.G.; SILVA, J.A.G.; GEWEHR, E.; OLIVEIRA, A.C.; BINELO, M.O.; VALDIERO, A.C.; GZERGORCZICK, M.E.; LIMA, A.R.C. The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in southern Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.4322–4330. 2015. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10038>
- AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v.1, p.23-31, 2002.
- BORTOLIN, A.; SERAFIM, A. R.; AOUADA, F. A.; MATTOSO, L. H. C.; RIBEIRO, C. Macro- and Micronutrient Simultaneous Slow Release from Highly Swellable Nanocomposite Hydrogels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 3133-3140, 2016.
- BREZOLIN, A.P.; SILVA, J.A.G.; ROOS-FRANTZ, F.; BINELO, M.O.; KRUGER, C.A.M.B.; ARENHARDT, E. G.; MAROLLI, A.; MANTAI, R.D; SCREMIN, O.B.; DORNELLES, E.F. Wheat yield obtained from nitrogen dose and fractionation. **African Journal of Agricultural Research**, 12(8), 566-576. 2017 DOI: 10.5897/AJAR2016.11929
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 6 sexto levantamento, março 2023.
- DA SILVA, T. R. G.; COSTA, M. L. A.; FARIAS, L. R. A.; SANTOS, M. A.; ROCHA, J. J. L.; SILVA, J. V. Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021.
- FAGERIA, N. K.; CARVALHO, M. C. S.; DOS SANTOS, F. C. Root growth of upland rice genotypes as influenced by nitrogen fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 1, p. 95-106, 2014.
- JÚNIOR, G. do N. A. GOMES, F. T.; SILVA, M. J.; JARDIN, A. M. R. F.; SIMÕES, V. J. L. P.; IZIDRO, J. L. P. S.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; SILVA, T. G. F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 148, 2018.
- KAEWPIROM, S.; BOONSANG, S. Electrical response characterisation of poly (ethylene glycol) macromer (PEGM)/chitosan hydrogels in NaCl solution. **European Polymer Journal**. v.42, p.1609-1616, 2006.
- KRAISIG, A. R.; SCREMIN, O. B.; MANTAI, R. D.; MAROLLI, A.; MAMANN, A. T. W.; BREZOLIN, A. P.; SCREMIN, A. H.; SILVA, J. A. G. Análise da superfície de resposta sobre o uso do biopolímero hidrogel no sistema soja/aveia. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 6, n. 1, 7f., 2018.
- MENDONÇA, T. G.; URBANO, V. R.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 2, n. 2, p. 87-92, 2013.

SAMPAT, A. G. **Física de suelos: principios y aplicaciones**. México: Limusa-Wiley, 1973. 351p., 1973.

VENTUROLI, F.; VENTUROLI, S. Recuperação florestal em uma área degradada pela exploração de areia no Distrito Federal. **Ateliê Geográfico**, v.5, p.183-195, 2011.