

**Plântulas de trigo afetadas por um promotor hormonal de crescimento vegetal**

**Wheat seedlings affected by a hormonal plant growth promoter**

**Plántulas de trigo afectadas por un promotor hormonal del crecimiento vegetal**

Recebido: 05/11/2020 | Revisado: 14/11/2020 | Aceito: 17/11/2020 | Publicado: 22/11/2020

**Sérgio Ricardo Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6951-8324>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Trigo, Brasil

E-mail: [sergio.ricardo@embrapa.br](mailto:sergio.ricardo@embrapa.br)

**Gabriel Zanardo Martins**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9488-7356>

Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brasil

E-mail: [gabrielzm97@gmail.com](mailto:gabrielzm97@gmail.com)

**Resumo**

Promotores hormonais de crescimento de plantas (PHCP) têm sido utilizados na agricultura, especialmente cinetina (KIN, citocinina), ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, giberelina), e ácido indolbutírico (IBA, auxina). O objetivo deste trabalho foi avaliar doses e métodos de aplicação de um produto contendo PHCP (0,09 g L<sup>-1</sup> de KIN; 0,05 g L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 0,05 g L<sup>-1</sup> de IBA) e os seus efeitos no crescimento de plântulas de trigo. Dois experimentos independentes foram conduzidos em casa de vegetação. O primeiro foi desenvolvido em papel Germitest<sup>®</sup> e o segundo em solo. Em ambos os casos, foram utilizados delineamentos inteiramente casualizados. O primeiro ensaio, com 10 repetições, foi conduzido em arranjo fatorial 2 × 2 × 4, sendo dois genótipos de trigo, duas doses de PHCP aplicadas nas sementes, e quatro períodos de crescimento das plântulas, totalizando 160 unidades experimentais. O segundo ensaio continha quatro repetições, com tratamentos dispostos no arranjo fatorial 2 × 2 × 2, sendo dois genótipos de trigo, duas doses de PHCP aplicadas nas sementes, e duas doses de PHCP aplicadas nas folhas, totalizando 32 unidades experimentais. Foram avaliados os crescimentos radicular (número de raízes/plântula e comprimento total/plântula) e foliar (comprimento, largura e área). A aplicação do PHCP nas sementes atrasou o crescimento inicial das raízes e a expansão da área foliar. Porém, este efeito inibitório foi revertido com o avanço da idade das plântulas. A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas

ocasionou um efeito antagônico, com sistemática redução do crescimento de raízes das plântulas trigo.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum*; Hormônio vegetal sintético; Crescimento radicular.

### Abstract

Synthetic hormonal plant growth promoter (HPGP) has been used in agriculture, especially kinetin (KIN, cytokinin), gibberellic acid (GA<sub>3</sub>, gibberellin), and indolbutyric acid (IBA, auxin). The objective of this work was to evaluate rates and methods of application of a HPGP product (0.09 g L<sup>-1</sup> of KIN; 0.05 g L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 0.05 g L<sup>-1</sup> of IBA) and its effects on wheat seedling growth. Two independent experiments were carried out in a greenhouse. The first was performed on Germitest<sup>®</sup> paper and the second in soil. In both cases, it was used a completely randomized design. The first trial, with 10 replicates, was carried out in a 2 × 2 × 4 factorial arrangement, being two wheat genotypes, two HPGP rates applied on the seeds, and four periods of seedling growth, totaling 160 experimental units. The second trial had four replicates, with treatments disposed in a 2 × 2 × 2 factorial arrangement, being two wheat genotypes, two HPGP rates applied on the seeds, and two HPGP rates applied on the leaves, totaling 32 experimental units. It was evaluated the growth of roots (number of roots/seedling and total root length/seedling) and the growth of leaves (length, width, and area). The application of HPGP on the seeds delayed the initial root growth and the leaf area expansion. However, this inhibitory effect was reversed along with the advance of seedling age. The combined application of HPGP on the seeds and on the leaves caused an antagonistic effect, with systematic growth reduction of wheat seedling roots.

**Keywords:** *Triticum aestivum*; Synthetic vegetal hormone; Root growth.

### Resumen

Los promotores hormonales del crecimiento de plantas (PHCP) se han utilizado en agricultura, especialmente kinetina (KIN, citoquinina), ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, giberelina) y ácido indolbutírico (IBA, auxina). El objetivo de este trabajo fue evaluar dosis y métodos de aplicación de un producto conteniendo PHCP (0.09 g L<sup>-1</sup> de KIN; 0.05 g L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 0.05 g L<sup>-1</sup> de IBA) y sus efectos sobre el crecimiento de plántulas de trigo. Se llevaron a cabo dos experimentos independientes en un invernadero. El primero se desarrolló en papel Germitest<sup>®</sup> y el segundo en suelo. En ambos casos se utilizaron diseños completamente aleatorizados. El primer ensayo, con 10 repeticiones, se realizó en un arreglo factorial 2 × 2 × 4, con dos genotipos de trigo, dos dosis de PHCP aplicadas a las semillas y cuatro períodos de

crecimiento de las plántulas, totalizando 160 unidades experimentales. El segundo ensayo contó con cuatro repeticiones, con tratamientos dispuestos en un arreglo factorial  $2 \times 2 \times 2$ , con dos genotipos de trigo, dos dosis de PHCP aplicadas a las semillas y dos dosis de PHCP aplicadas en las hojas, totalizando 32 unidades experimentales. Se evaluó el crecimiento de raíces (número de raíces/plántula y longitud total/plántula) y el crecimiento de hojas (largo, ancho, y área). La aplicación de PHCP en las semillas retrasó el crecimiento inicial de las raíces y la expansión del área foliar. Sin embargo, este efecto inhibitor se revirtió con la edad de las plántulas. La aplicación combinada de PHCP en las semillas y en las hojas provocó un efecto antagónico, con una reducción sistemática del crecimiento de las raíces de las plántulas de trigo.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum*; Hormona vegetal sintética; Crecimiento de raíces.

## 1. Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos principais alimentos utilizados na nutrição humana e animal, cuja produção mundial na safra de 2019/20 foi de 764,4 milhões de toneladas (USDA, 2020). O Brasil tem mantido uma área de mais de 2 milhões de hectares cultivada com trigo, cujo rendimento de grãos da cultura tem aumentado gradativamente nas últimas décadas, sendo que, de 1998 a 2018 ele aumentou 66,7%, ou seja, de 1593 para 2657 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020a). No entanto, esta produtividade do trigo brasileiro ainda é considerada baixa quando comparada com importantes exportadores do cereal, como Estados Unidos da América e Argentina. Além disso, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo, atendendo menos de 50% de seu consumo interno (CONAB, 2020b). Portanto, esforços têm sido realizados no sentido de elevar o rendimento de grãos da cultura, como a intensificação do melhoramento genético e o uso de práticas agrônômicas mais eficientes.

Neste contexto, é indispensável a utilização de sementes com alta capacidade germinativa e potencial fisiológico, visando aumentar as chances de sucesso do estabelecimento inicial e produtividade das lavouras (Catão et al., 2013). No entanto, mesmo obtendo sementes com alta qualidade no campo agrícola, os processos de colheita mecânica, secagem e armazenamento geralmente ocasionam danos e estresses que reduzem seu poder germinativo e vigor (Carvalho & Nakagawa, 2012). Deste modo, algumas substâncias têm sido avaliadas na tentativa de recuperar ou melhorar a qualidade fisiológica das sementes, além de promover melhor desenvolvimento das plântulas.

Recentemente alguns hormônios vegetais sintéticos têm sido registrados para uso na agricultura como bioreguladores ou reguladores vegetais, que são substâncias químicas aplicadas exogeneamente em sementes ou folhas para proporcionarem efeitos sobre o metabolismo da planta, de maneira similar aos hormônios vegetais naturais (Silva & Pires, 2017).

Os hormônios vegetais são mensageiros químicos produzidos pelas células, que modulam os processos fisiológicos e metabólicos, mesmo sob baixas concentrações (Taiz & Zeiger, 2013). Durante o processo de germinação das sementes, as auxinas favorecem a permeabilidade da membrana e o crescimento da raiz primária e do hipocótilo. Em sementes de trigo e outras gramíneas, a giberelina produzida pelo embrião acelera a digestão de reservas nutritivas contidas no endosperma, pois estimula a produção de enzimas hidrolíticas. Por sua vez, as citocininas estimulam a divisão e o alongamento celular, apresentando efeito sinérgico com a luz (Marcos-Filho, 2015). O efeito da aplicação destes fitohormônios nas sementes tem sido foco de estudo de alguns pesquisadores. Por exemplo, Yu et al. (2016) realizaram a aplicação de  $150 \mu\text{mol L}^{-1}$  de ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ , do grupo da giberelina) em sementes de trigo e verificaram aumentos de 5% na taxa germinativa, 12% no comprimento radicular, e 11% no comprimento da parte aérea, quando comparado com a testemunha.

Atualmente, está disponível no mercado agrícola brasileiro um promotor hormonal do crescimento de plantas (PHCP) à base de cinetina (KIN, do grupo da citocinina),  $\text{GA}_3$ , e ácido indol-3-butírico (IBA, do grupo das auxinas). Alguns trabalhos avaliaram o efeito deste PHCP sobre a produtividade do trigo (Oliveira et al., 2020; Silva & Pires, 2017). Porém, não foram encontrados resultados publicados sobre a ação deste PHCP sobre a germinação de sementes e desenvolvimento inicial das plântulas de trigo. Este tipo de informação científica é de interesse dos agricultores (que têm utilizado este PHCP sem uma abrangente validação), uma vez que o estabelecimento inicial do estande de plantas é condição determinante da produtividade do trigo. Portanto, estudos adicionais são necessários para subsidiar esta atividade econômica.

Com base em observações realizadas pelo primeiro autor deste trabalho em lavouras comerciais de trigo, nós hipotetizamos que este PHCP pode causar efeitos adversos sobre o estabelecimento inicial do estande de plantas, retardando seu desenvolvimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de um PHCP – contendo três importantes hormônios vegetais (KIN,  $\text{GA}_3$  e AIB) – sobre a germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de cultivares de trigo.

## 2. Material e Métodos

Os experimentos foram elaborados e desenvolvidos segundo critérios e fundamentos de metodologia da pesquisa científica, considerando adequados delineamentos estatísticos para testarem a hipótese do trabalho de acordo com os objetivos propostos (Köche, 2011; Pereira et al., 2018). Os métodos de pesquisa utilizados para avaliar a germinação de sementes e o desenvolvimento de plântulas de trigo – em condições de casa de vegetação – foram elaborados pelos autores com base nos trabalhos de Oliveira et al. (1991) e MAPA (2009), realizando as adaptações necessárias.

### 2.1 Condições ambientais e delineamentos experimentais

Dois experimentos independentes foram realizados em condições controladas de casa de vegetação: i) Crescimento de plântulas de trigo em papel Germitest<sup>®</sup> *versus* doses de PHCP (0,09 g L<sup>-1</sup> de KIN; 0,05 g L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 0,05 g L<sup>-1</sup> de IBA) aplicadas nas sementes; ii) Crescimento de plântulas de trigo no solo *versus* doses e métodos de aplicação de PHCP em sementes e em folhas. O primeiro experimento foi conduzido até oito dias após a semeadura (DAS) e o segundo até 14 DAS. As principais condições meteorológicas dentro da casa de vegetação, durante os dois períodos experimentais, foram (média ± desvio padrão): temperatura média diária de 27,5 ± 4,0 °C e 27,0 ± 3,8 °C; umidade relativa média do ar de 73,4 ± 17,0% e 72,5 ± 16,3%; e radiação solar global média diária de 20,5 ± 3,8 MJ m<sup>-2</sup> e 19,2 ± 4,5 MJ m<sup>-2</sup>, para os experimentos 'i' e 'ii', respectivamente.

O primeiro experimento, com 10 repetições, foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, no arranjo fatorial 2 × 2 × 4, sendo dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço), duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg<sup>-1</sup>) aplicadas diretamente nas sementes, e quatro períodos de crescimento das plântulas (2, 4, 6 e 8 DAS), totalizando 160 unidades experimentais (UE). Cada UE foi constituída por um papel Germitest<sup>®</sup> (28 × 38 cm) em forma de rolo.

O segundo experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, com tratamentos dispostos no arranjo fatorial 2 × 2 × 2, sendo dois genótipos de trigo (cultivares BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço), duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg<sup>-1</sup>) aplicadas nas sementes, e duas doses de PHCP (0 e 0,5 L ha<sup>-1</sup>) aplicadas nas folhas, totalizando 32 UE. Cada UE consistiu de um recipiente cilíndrico de polivinil (10 cm de altura e 5,75 cm de diâmetro interno), contendo 220 cm<sup>3</sup> de solo. Foi utilizado um solo

tropical altamente intemperizado, classificado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho Amarelo (Santos et al., 2013) ou 'red-yellow Ferralsol' de acordo com o sistema internacional (FAO, 2014). Amostras de solo foram coletadas nos 20 cm superiores do perfil do solo, passadas por uma peneira com malha de 2 mm, secas ao ar, homogeneizadas, e armazenadas até o uso. Subamostras de solo foram coletadas para caracterização em laboratório. Algumas propriedades químicas do solo: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) = 5,56; fósforo e potássio disponíveis (extrator Mehlich-1) = 24,2 e 60  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectivamente; cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (extrator KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ) = 12,9, 5,0 e 0,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente; acidez potencial (extrator 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  de acetato de cálcio, pH 7,0) = 8,6  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; capacidade de troca catiônica = 26,7  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; saturação por bases = 67,7%.

Os métodos de aplicação (nas sementes e/ou nas folhas) e as doses de PHCP foram baseados nas recomendações técnicas do fabricante do produto para a cultura do trigo (ou seja, 4–6  $\text{mL kg}^{-1}$  nas sementes; e 0,25–0,5  $\text{L ha}^{-1}$  nas folhas).

Com relação à fenologia, BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço são classificadas como cultivares de ciclo médio, apresentando desde a emergência das plântulas até a maturação dos grãos médias de 124 e 112 dias, respectivamente (Basso et al., 2019). Elas são consideradas as principais cultivares comerciais de trigo da Embrapa semeadas no Paraná nas safras de 2019 e 2020.

## 2.2 Instalação dos experimentos

Primeiro experimento – A aplicação das duas doses (0 e 5  $\text{mL kg}^{-1}$ ) do PHCP nas sementes foi realizada no interior de sacos plásticos, nos quais o produto foi adicionado juntamente com as sementes (com proporção de mistura de 5  $\text{mL}$  de PHCP por quilograma de sementes), seguido de agitação até que as sementes estivessem completamente recobertas com a solução. No tratamento controle foi utilizada água destilada. Após três horas de embebição, duas sementes foram semeadas a 1 cm de distância da borda superior de um papel Germitest<sup>®</sup>, espaçadas entre si de 3 cm, sendo a folha de papel posteriormente enrolada em formato cilíndrico. Em seguida, os rolos foram dispostos verticalmente, com a borda superior (contendo as sementes) fixada em um suporte (localizado a 40 cm de altura da bancada) e a borda inferior foi imersa em um recipiente com água. Este dispositivo permitiu a subida vertical da água até as sementes, através da capilaridade do papel. Três dias após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula em cada rolo. O ensaio foi conduzido até o oitavo DAS, mantendo a umidade do papel próxima à sua capacidade de retenção de

água, repondo a água dos recipientes e borrifando-a direcionada à superfície do papel a cada duas horas durante o período diurno.

Segundo experimento – A aplicação das duas doses (0 e 5 mL kg<sup>-1</sup>) do PHCP nas sementes foi realizada da mesma forma que no primeiro experimento. Após três horas de embebição, duas sementes foram semeadas no solo de cada vaso. Dois dias após a emergência foi realizado o desbaste, restando apenas uma plântula em cada vaso. Sete DAS as duas doses (0 e 0,5 L ha<sup>-1</sup>) de PHCP foram aplicadas nas folhas, pulverizando-as no estágio de duas folhas desdobradas [estádio de crescimento GS12 da escala de Zadoks (Zadoks et al., 1974)]. O produto foi aplicado com pulverizador manual equipado com bico do tipo cone oco. O ensaio foi conduzido até 14 DAS, mantendo a umidade do solo próximo à sua capacidade de retenção de água, por meio de irrigação diária com água destilada. Foi escolhido o período de 14 DAS para a colheita do ensaio, pois ele correspondeu ao estágio de crescimento GS13 da escala de Zadoks, que foi considerada pelos autores como o fim da fase de plântula.

### **2.3 Avaliações nas plântulas**

Primeiro experimento – Ao final de cada período de crescimento (2, 4, 6 e 8 DAS), a parte aérea da plântula foi cortada para medição do comprimento da folha (CF, cm), largura da folha (LF, cm; média de cinco medições ao longo da folha, com uso de paquímetro), e área foliar (AF, cm<sup>2</sup>; estimada como CF × LF). Os rolos de papel foram desenrolados e a profundidade máxima atingida pelo sistema radicular (PR) foi medida. Em seguida, o sistema radicular foi cuidadosamente retirado do papel Germitest<sup>®</sup> e o número de raízes (NR, raízes plântula<sup>-1</sup>) e o comprimento total de raízes (CR, cm plântula<sup>-1</sup>) foram avaliados por contagem direta e medição com régua milimetrada, respectivamente.

Segundo experimento – Após 14 DAS, a parte aérea da planta foi cortada para as seguintes avaliações: CF, LF e AF, da mesma forma que no primeiro experimento. Em seguida, o solo foi retirado de cada vaso e lavado sobre uma peneira com malha de 0,25 mm para separar as raízes, que foram medidas para: NR (por contagem direta) e CR pelo método de interseção de linhas (Tennant, 1975).

### **2.4 Análises estatísticas**

Os dados experimentais, para cada ensaio, foram analisados por meio do pacote estatístico GENES<sup>®</sup> (Cruz, 2013). Para uma análise dos pressupostos dos modelos, foram

realizados o teste de Lilliefors para normalidade e o teste de Bartlett para homogeneidade de variância. Coeficientes de assimetria e curtose também foram avaliados. De acordo com esses testes, nenhuma transformação de dados foi necessária. Uma vez que todas as pressuposições necessárias para a análise de variância (ANOVA) foram atendidas, o teste F foi realizado

No primeiro experimento, quando a ANOVA resultou em um valor de  $P$  significativo ( $P \leq 0,05$ ), os parâmetros quantitativos (períodos de crescimento das plântulas) foram ajustados para os modelos de regressão linear, quadrático e quadrático base raiz quadrada, utilizando o pacote estatístico SAEG<sup>®</sup> (Euclides, 1983). Os coeficientes dos modelos ajustados foram avaliados pelo teste F (em níveis de significância de  $P < 0,001$ ,  $P < 0,01$  e  $P < 0,05$ ) considerando o quadrático médio do resíduo da ANOVA do experimento. Em seguida, dentre dois ou mais modelos com coeficientes significativos, foi escolhido aquele com o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Além disso, considerando o desdobramento das interações significativas entre os fatores estudados, foi utilizado o intervalo de confiança com 95% de significância para comparar cada combinação genótipo-PHCP dentro de cada período de crescimento das plântulas. Foi calculada a correlação de Pearson entre as principais variáveis.

No segundo experimento, quando a ANOVA resultou em um valor de  $P$  significativo, o teste  $t$  ( $P \geq 0,05$ ) foi utilizado para comparações entre duas médias dos tratamentos, considerando o desdobramento das interações significativas entre os fatores experimentais.

### **3. Resultados**

#### **3.1 Primeiro experimento – Crescimento de plântulas de trigo em papel Germitest<sup>®</sup> afetado por doses de PHCP em sementes**

Sementes tratadas com PHCP geraram plântulas com menores taxas de crescimento de raízes e de folhas, que foram influenciadas por interações entre os fatores estudados, isto é, período de crescimento pós-semeadura, cultivar de trigo e dose de PHCP (Tabela 1).



**Tabela 1.** Significância (*P-value*) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais [período (P), genótipo (G), e dose de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) na semente (S)] e de suas interações; e médias de número de raízes (NR), comprimento (CR) e profundidade (PR) radiculares, e área foliar (AF) de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest®) durante quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após semeadura), em função de duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg<sup>-1</sup>) aplicadas nas sementes.

Fonte de variação	GL	NR	CR	PR	AF
Período (P)	3	***	***	***	***
Genótipo (G)	1	***	***	**	ns
PHCP-sem (S)	1	***	***	***	***
P x G	3	***	ns	*	ns
P x S	3	***	ns	ns	*
G x S	1	**	*	***	***
P x G x S	3	***	***	***	***
Resíduo	144				
CV (%)		15,1	19,6	14,9	23,6

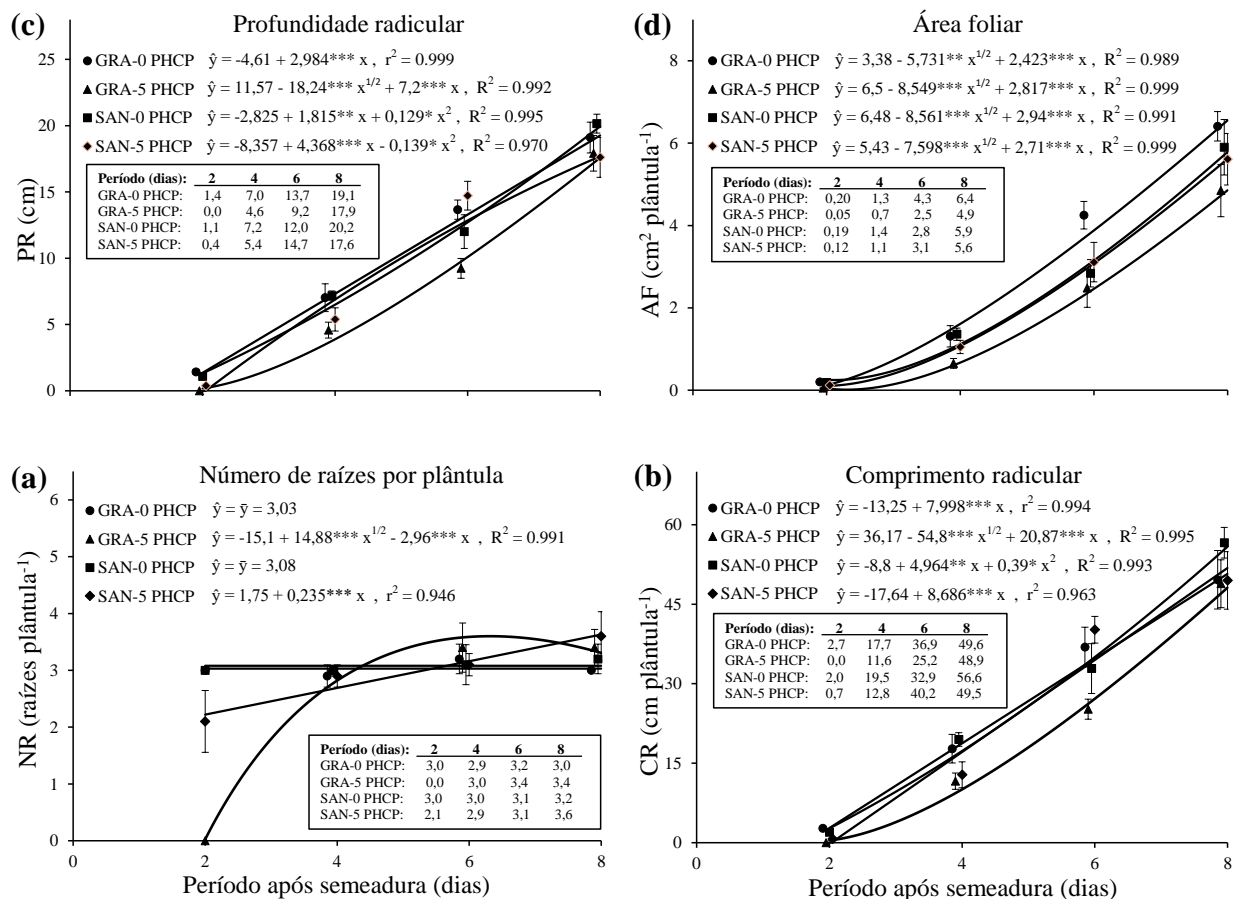
  

Fator	Tratamento	NR (raízes planta <sup>-1</sup> )	CR (cm planta <sup>-1</sup> )	PR (cm)	AF (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )
Período (P)	2 dias	2,03	1,34	0,73	0,14
	4 dias	2,95	15,40	6,05	1,09
	6 dias	3,20	33,79	12,41	3,17
	8 dias	3,30	51,14	18,70	5,69
Genótipo (G)	BRS Gralha-Azul	2,74	24,08	9,12	2,53
	BRS Sanhaço	3,00	26,76	9,82	2,52
PHCP-sem (S)	0 mL kg <sup>-1</sup>	3,05	27,23	10,21	2,81
	5 mL kg <sup>-1</sup>	2,69	23,61	8,73	2,24

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, \*, \*\* e \*\*\* = não significativo, significativo a  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , respectivamente, pelo teste F. Fonte: Autores.

A aplicação de PHCP nas sementes atrasou a emissão de raízes em ambas cultivares de trigo (Figura 1a).

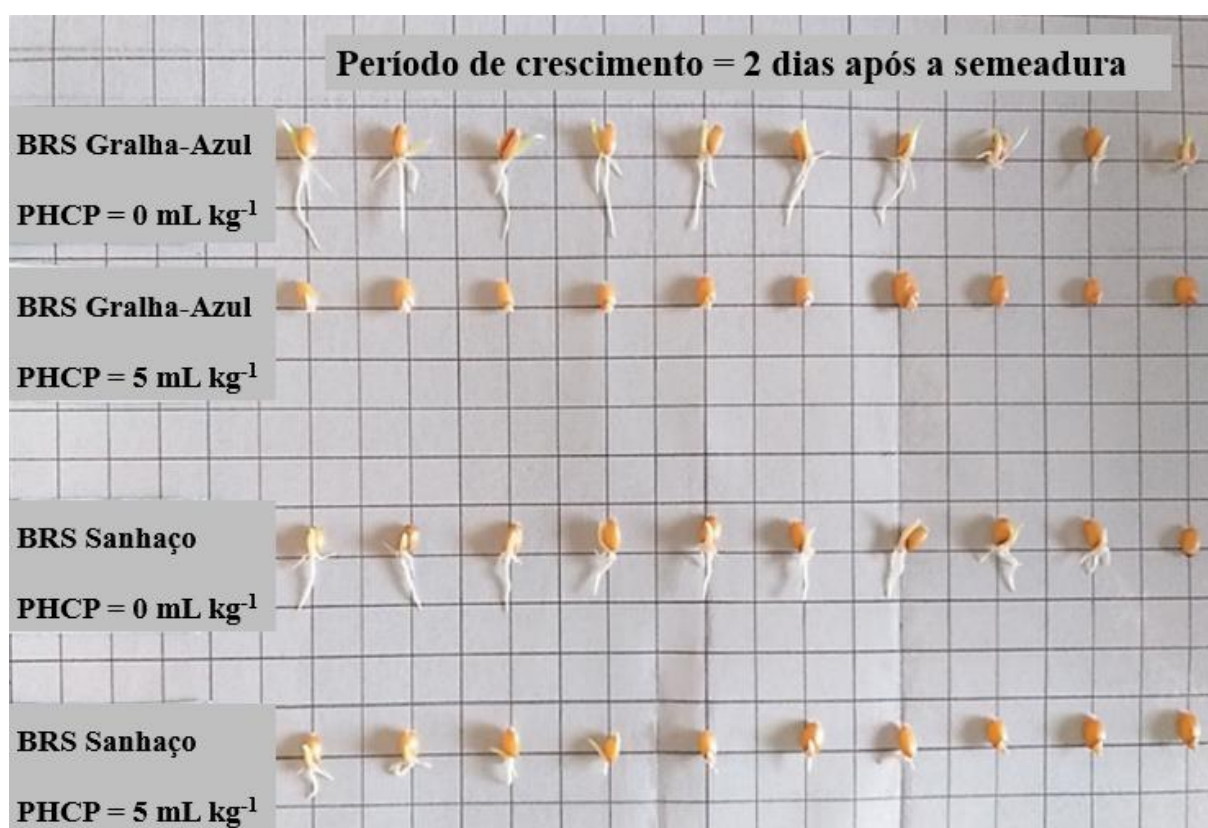
**Figura 1.** Desdobramento da análise de variância (ANOVA) para número de raízes (NR), comprimento (CR) e profundidade (PR) radiculares, e área foliar (AF) de plântulas de dois genótipos de trigo [BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN)] cultivados em papel de germinação (Germitest®) durante quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após sementeira), em função de duas doses de promotor hormonal de crescimento de plantas [0 mL kg<sup>-1</sup> (0 PHCP) e 5 mL kg<sup>-1</sup> (5 PHCP)] aplicadas nas sementes.



Barras verticais junto às médias dos tratamentos correspondem ao intervalo de confiança a 95% de significância (n = 10) para cada período de crescimento da plântula, considerando cada combinação genótipo–PHCP. \*\*\*, \*\* e \*: significância pelo teste F ao nível de  $P < 0,001$ ,  $P < 0,01$  e  $P < 0,05$ , respectivamente, dos coeficientes dos modelos de regressão ajustados. Caixas de texto dentro dos gráficos contêm as médias dos tratamentos para cada período de crescimento das plântulas. Fonte: Autores.

Aos 2 DAS ainda não haviam raízes nas sementes tratadas com PHCP da BRS Gralha-Azul (Figura 2), ao passo que no tratamento controle foram encontradas uma média de 3 raízes plântula<sup>-1</sup> (quantidade que se manteve constante até 8 DAS). Por sua vez, nas sementes da BRS Sanhaço tratadas com PHCP houve redução de 30% do número de raízes emitidas aos 2 DAS; sendo que, aos 4 e 6 DAS não houve diferença entre os tratamentos, cujas médias foram de 2,95 e 3,1 raízes plântula<sup>-1</sup>, respectivamente. Além disso, aos 8 DAS houve maior número de raízes nos tratamentos que receberam PHCP (média de 3,5 raízes plântula<sup>-1</sup>), quando comparados com as testemunhas (média de 3,1 raízes plântula<sup>-1</sup>). Finalmente, houve mínima diferença entre as cultivares de trigo (dentro de cada período de crescimento) para a variável número de raízes/plântula.

**Figura 2.** Plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest<sup>®</sup>), aos 2 dias após a sementeira, em resposta a duas doses (0 e 5 mL kg<sup>-1</sup>) de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicado nas sementes.



Fonte: Sérgio Ricardo Silva (Autor).

A taxa média de crescimento de raízes foi de 8,3 cm plântula<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> desde o segundo até o oitavo DAS (Figura 1b). No entanto, analisando individualmente cada tratamento, verifica-se, na maioria das situações, um menor comprimento de raízes nas plântulas provenientes de sementes tratadas com PHCP, principalmente aos 2 e 4 DAS, com decréscimos médios de 85 e 34,4%, respectivamente. De modo geral, não houve diferença de comprimento de raízes entre as cultivares de trigo, considerando individualmente cada período de crescimento (exceto aos 6 DAS).

A profundidade máxima alcançada pelo sistema radicular das plântulas apresentou um padrão de resposta aos fatores estudados similar àquele observado para o comprimento de raízes, o que é confirmado pela elevada correlação de Pearson ( $r = 0,987^{***}$ ) entre estas duas variáveis (Figura 1c).

Sementes da cultivar BRS Gralha-Azul tratadas com PHCP proporcionaram o desenvolvimento de plântulas com menor área foliar, com decréscimos de 75, 50, 42 e 24% nos períodos de 2, 4, 6 e 8 DAS, respectivamente (Figura 1d). Desta forma, as taxas médias de crescimento foliar foram de 1,04 e 0,8 cm<sup>2</sup> plântula<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> desde o segundo até o oitavo DAS nas plântulas provenientes das sementes sem e com aplicação de PHCP, respectivamente. No caso das sementes da BRS Sanhaço, houve efeito inibitório do PHCP sobre a expansão da área foliar somente aos 2 DAS, com redução de 37%.

### **3.2 Segundo experimento – Crescimento de plântulas de trigo em solo afetado por doses e métodos de aplicação de PHCP em sementes e folhas**

Dentre os fatores estudados, somente o 'genótipo' apresentou efeitos diretos sobre o crescimento de folhas aos 14 DAS, sem qualquer interação com os métodos de aplicação do PHCP (Tabela 2). Assim, a BRS Gralha-Azul obteve uma redução de 6,6% de comprimento foliar e aumentos de 9,1 e 7,6% de largura e área foliares, respectivamente, quando comparada com a BRS Sanhaço.

**Tabela 2.** Significância (*P-value*) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais [genótipo (G), dose de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) na semente (S), e dose de PHCP via foliar (F)] e de suas interações; e médias de número de raízes (NR) e comprimento radicular (CR) por plântula; comprimento (CF), largura (LF) e área (AF) foliares de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados durante 14 dias em vasos em condições controladas de casa de vegetação, em resposta à aplicação de PHCP nas sementes e nas folhas.

Fonte de variação	GL	NR	CR	CF	LF	AF
Genótipo (G)	1	ns	ns	*	**	*
PHCP-sem (S)	1	ns	ns	ns	ns	ns
PHCP-fol (F)	1	ns	ns	ns	ns	ns
G x S	1	ns	ns	ns	ns	ns
G x F	1	ns	ns	ns	ns	ns
S x F	1	*	*	ns	*	ns
G x S x F	1	ns	ns	ns	ns	ns
Resíduo	46					
CV (%)		15,0	23,2	8,2	7,3	10,3

Fator	Tratamento	NR (raízes planta <sup>-1</sup> )	CR (cm planta <sup>-1</sup> )	CF (cm folha <sup>-1</sup> )	LF (cm folha <sup>-1</sup> )	AF (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )
Genótipo (G)	BRS Galha-Azul	3,61	91,7	12,1 b	0,359 a	15,6 a
	BRS Sanhaço	3,63	93,7	12,9 a	0,329 b	14,5 b
PHCP-sem (S)	0 mL kg <sup>-1</sup>	3,59	87,7	12,3	0,345	14,8
	5 mL kg <sup>-1</sup>	3,65	97,7	12,6	0,343	15,2
PHCP-fol (F)	0 L ha <sup>-1</sup>	3,66	93,8	12,3	0,337	14,7
	0,5 L ha <sup>-1</sup>	3,58	91,6	12,6	0,351	15,3

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, \*, \*\* e \*\*\* = não significativo, significativo a  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, individualmente para cada fator, não diferem entre si pelo teste F (de acordo com a ANOVA para cada fator). Fonte: Autores.

Os tratamentos de sementes e/ou de folhas de trigo com PHCP influenciaram os crescimentos radicular e foliar das plântulas, cujos efeitos são observados somente por meio do desdobramento das interações significativas entre estes dois métodos de aplicação de PHCP (Tabelas 2 e 3).

**Tabela 3.** Desdobramento da análise de variância (ANOVA) para número (NR) e comprimento de raízes (CR) por planta, e largura de folha (LF) de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados durante 14 dias em vasos em condições controladas de casa de vegetação, em resposta à aplicação de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes e nas folhas.

PHCP nas sementes	PHCP nas folhas					
	NR (raízes planta <sup>-1</sup> )		CR (cm planta <sup>-1</sup> )		LF (cm folha <sup>-1</sup> )	
	0 L ha <sup>-1</sup>	0,5 L ha <sup>-1</sup>	0 L ha <sup>-1</sup>	0,5 L ha <sup>-1</sup>	0 L ha <sup>-1</sup>	0,5 L ha <sup>-1</sup>
0 mL kg <sup>-1</sup>	3,44 bA	3,75 aA	80,9 bB	94,5 aA	0,350 aA	0,341 bA
5 mL kg <sup>-1</sup>	3,88 aA	3,42 aB	106,7 aA	88,8 aB	0,325 aB	0,360 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste t ( $P \geq 0,05$ ). Fonte: Autores.

O número de raízes e o comprimento radicular aos 14 DAS aumentaram 12,8 e 31,9%, respectivamente, em resposta à adição de PHCP nas sementes, sendo que estes efeitos foram exclusivos nos tratamentos que não receberam pulverização de PHCP nas folhas (Tabela 3). Por outro lado, a aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas proporcionou reduções de 11,9 e 16,8% do número de raízes e do comprimento radicular, respectivamente, quando comparada ao tratamento que recebeu PHCP somente nas sementes. Finalmente, o comprimento radicular aumentou 17% em resposta à aplicação de PHCP unicamente nas folhas.

A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas resultou em aumentos da largura média de folha de 10,8 e 5,6%, aos 14 DAS, em relação aos tratamentos que receberam PHCP exclusivamente nas sementes ou nas folhas, respectivamente (Tabela 3). No entanto, estes aumentos de largura de folha não foram acompanhados por aumentos de área foliar.

## 4. Discussão

### 4.1 Efeitos do PHCP sobre o crescimento radicular de plântulas de trigo

O PHCP atrasou a emissão inicial de raízes (aos 2 DAS), porém este retardo foi compensado nos dias seguintes por meio de um maior número de raízes emitidas. Este resultado pode ser atribuído ao condicionamento osmótico (ou efeito 'priming'), que consiste na absorção de água pelas sementes sob condições controladas, havendo um estímulo no metabolismo das sementes durante esta fase de embebição, mas retardando a protrusão da raiz primária (Bewley & Black, 1982). Afzal et al. (2013) observaram que esse fenômeno também pode ser induzido com a aplicação de fitohormônios, como a cinetina. Além disso, esses autores verificaram que o condicionamento osmótico de sementes de trigo com 50 mg L<sup>-1</sup> de cinetina resultou em plantas 6% mais altas e com incremento de 18% no rendimento de grãos. Em outro contexto, Bahrani e Pourreza (2012) verificaram que a aplicação de GA<sub>3</sub> em sementes de trigo resultou em decréscimo da taxa de germinação, sendo um resultado não esperado por eles, com base em outros relatos levantados previamente na literatura. Finalmente, Georgin et al. (2014) utilizaram o mesmo PHCP do presente trabalho no tratamento de sementes de trigo e não verificaram qualquer efeito do produto sobre a germinação das sementes aos 4 DAS.

Apesar de as taxas médias de aumento do comprimento radicular entre o segundo e o oitavo DAS terem sido semelhantes entre os tratamentos, as sementes que receberam PHCP tiveram o crescimento radicular retardado no período inicial (do segundo ao sexto DAS), recuperando o desenvolvimento posteriormente (ao oitavo DAS). Este comportamento também pode ser atribuído ao efeito de condicionamento osmótico proporcionado pelo PHCP, como abordado anteriormente. Deste modo, há evidências de que o PHCP apresenta rápida atuação sobre o metabolismo fisiológico da semente, logo após o início do processo de embebição e desenvolvimento do embrião. Além disso, há registros na literatura de que esta ação inicial do PHCP se prolonga ao longo do desenvolvimento das plântulas e dos estádios fenológicos da planta de trigo, uma vez que pode influenciar seu rendimento de grãos, como verificado por Oliveira et al. (2020).

A alta correlação de Pearson ( $r = 0,987^{***}$ ) entre comprimento e profundidade radiculares deve-se ao fato de as plântulas de trigo terem apresentado (dentro de cada período de crescimento) um padrão de raízes seminais com semelhante comprimento e número/plântula, e poucas ramificações. Porém, esta alta correlação tende a diminuir com o

avanco da idade da planta, à medida que ocorre aumento do número de ramificações (secundárias, terciárias, etc.) e a concentração do sistema radicular próximo à superfície do solo.

#### **4.2 Efeitos do PHCP sobre o crescimento foliar de plântulas de trigo**

O PHCP inibiu a expansão inicial da área foliar somente nas plântulas da cultivar BRS Gralha-Azul, evidenciando um efeito de interação interespecífica genótipo *versus* PHCP. Isto pode ser parcialmente atribuído ao semelhante efeito inibitório do PHCP sobre o desenvolvimento de raízes, uma vez que houve alta correlação de Pearson ( $r = 0,948^{***}$ ) entre comprimento radicular e área foliar. No entanto, destaca-se que a intensidade deste efeito inibitório decresceu com a idade das plântulas, desde o segundo até o oitavo DAS; porém, a magnitude deste decréscimo foi proporcionalmente maior para o comprimento radicular do que para a área foliar (Figuras 1b e 1d). Portanto, podemos deduzir que a área fotossinteticamente ativa da BRS Gralha-Azul foi mais prejudicada do que sua capacidade de absorção de água e nutrientes no estágio inicial de crescimento de suas plântulas (até o oitavo DAS). Por outro lado, Georgin et al. (2014) não verificaram efeito deste PHCP sobre o crescimento de folhas de plântulas de trigo aos 8 DAS. Finalmente, Tsegay e Andargie (2018) obtiveram efeitos positivos do tratamento de sementes de milho com GA<sub>3</sub> sobre o comprimento da parte aérea das plântulas aos 14 DAS. Portanto, pela análise conjunta destes resultados, há evidências de que a ação do PHCP se altera com a idade da plântula, iniciando com uma inibição do crescimento foliar, porém revertendo este efeito posteriormente.

Apesar de a aplicação combinada (nas sementes e nas folhas) de PHCP ter aumentado a largura das folhas aos 14 DAS, este aumento não se estendeu à área foliar das plântulas de trigo. Isto pode ser atribuído a um efeito compensatório de simultânea redução do comprimento foliar (embora não foi detectada pela análise estatística), indicando que o PHCP pode modificar o formato das folhas, interferindo, portanto, em sua anatomia.

#### **4.3 Métodos de aplicação do PHCP na cultura de trigo**

A análise global dos resultados indica que a aplicação do PHCP exclusivamente nas sementes é o método mais adequado, considerando apenas o desenvolvimento inicial das plântulas de trigo (até 14 DAS). Em segundo lugar, a exclusiva pulverização do PHCP nas folhas proporciona resultados intermediários. Finalmente, a combinação dos dois métodos de



aplicação do PHCP não é indicada, pois reduz o desenvolvimento das raízes, possivelmente devido a um efeito antagônico sobre o metabolismo fisiológico das plântulas. Este antagonismo entre os métodos de administração do PHCP requer mais investigação, por meio de trabalhos científicos específicos para elucidar este fenômeno biológico.

## 5. Conclusões

A aplicação do PHCP nas sementes atrasa o crescimento inicial das raízes e a expansão da área foliar até 8 DAS. Porém, este efeito inibitório é revertido com o avanço da idade das plântulas de trigo.

Existe um efeito de interação interespecífica genótipo *versus* PHCP quanto ao desenvolvimento da área foliar de plântulas de trigo até 8 DAS.

A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas ocasiona um efeito antagônico, com sistemática redução do crescimento de raízes das plântulas trigo até 14 DAS.

Pesquisa adicional é necessária para expandir a geração de resultados para outras cultivares de trigo. Além disso, recomenda-se a condução de experimentos em condições de campo até o final do ciclo da cultura, de modo a avaliar os impactos do PHCP sobre o rendimento de grãos, o que subsidiará os tricultores no processo de tomada de decisão.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES; Código de Financiamento 001) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Agradecemos também à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pela bolsa de pesquisa concedida ao segundo autor deste trabalho.

## Referências

Afzal, I., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., Farooq, M., Jafar, M. Z., Shahid, M., & Yasmeen, A. (2013). Seed priming: A shotgun approach for alleviation of salt stress in wheat. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(6), 1199–1203.

Bahrani, A., & Pourreza, J. (2012). Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. *World Applied Sciences Journal*, 18(5), 633–641. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.05.1372>

Bassoi, M. C., Riede, C. R., Campos, L. A. C., Foloni, J. S. S., Nascimento Junior, A., Arruda, K. M., & Silva, S. R. (2019). *Cultivares de trigo e triticales BRS e IPR – Embrapa e Iapar*. Londrina (PR): Embrapa Soja. Recuperado de: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/196055/1/Catalogo-trigo2019-1.pdf>

Bewley, J. D., & Black, M. (1982). *Physiology and biochemistry of seed in relation to germination: Viability, dormancy and environmental control*. Berlin: Springer-Verlag.

Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2012). *Sementes: Ciência, tecnologia e produção*. Jaboticabal: FUNEP.

Catão, H. C. R. M., Magalhães, H. M., Sales, N. L. P., Brandão Júnior, D. S., & Rocha, F. S. (2013). Incidência e viabilidade de sementes crioulas de milho naturalmente infestadas com fungos em pré e pós-armazenamento. *Ciência Rural*, 43(5), 764–770. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000500002>

[CONAB] Companhia Nacional de Abastecimento. (2020a). *Série histórica das safras – Trigo*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. Recuperado de: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>

[CONAB] Companhia Nacional de Abastecimento. (2020b). *Trigo – Análise mensal (Junho 2020)*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. Recuperado de: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>

Cruz, C. D. (2013). GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(3), 271–276. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

Euclides, R. F. (1983). *Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.

[FAO] Food and Agriculture Organization. (2014). *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World reference base for soil resources*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Georgin, J., Lazzari, L., Lamego, F. P., & Camponogara, A. (2014). Desenvolvimento inicial de trigo (*Triticum aestivum*) com uso de fitohormônios, zinco e inoculante no tratamento de sementes. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18(4), 1318–1325. <https://doi.org/10.5902/2236117014615>

Köche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa*. Petrópolis: Vozes.

[MAPA] Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília: MAPA/ACS. Recuperado de: [https://www.abrates.org.br/files/regras\\_analise\\_de\\_sementes.pdf](https://www.abrates.org.br/files/regras_analise_de_sementes.pdf)

Marcos-Filho, J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. 2. ed., Londrina: ABRATES.

Oliveira, A. J., Garrido, W. E., Araujo, J. D., & Lourenço, S. (1991). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: Embrapa.

Oliveira, S., Lemes, E. S., Neves, E. H., Ritter, R., Mendonça, A. O., & Meneghello, G. E. (2020). Uso de biorregulador e seus reflexos na produção e na qualidade de sementes de trigo. *Scientia Plena*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.011501>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria: UAB/NTE/UFSM. Recuperado de: [https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica\\_final.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica_final.pdf)

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Cunha, T. J. F., & Oliveira, J. B. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

Silva, S. R., & Pires, J. L. F. (2017). Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. *Revista Ciência Agronômica*, 48(4), 631–638. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170073>

Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed.

Tennant, D. A. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63(3), 995–1001. <https://doi.org/10.2307/2258617>

Tsegay, B. A., & Andargie, M. (2018). Seed priming with gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* var. *abyssinicum* A. Braun and *Lathyrus sativus* L. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21(3), 261–267. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0043-0>

[USDA] United States Department of Agriculture. (2020). *World agricultural production*. Washington: United States Department of Agriculture. Recuperado de: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

Yu, H., Wang, L. L., Chen, X.Y., Yang, Y., Yu, X. R., Wang, Z., & Xiong, F. (2016). Effects of exogenous gibberellic acid and abscisic acid on germination, amylases, and endosperm structure of germinating wheat seeds. *Seed Science and Technology*, 44, 64–76. <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.1.09>

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Sérgio Ricardo Silva – 60%

Gabriel Zanardo Martins – 40%