

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: AVALIAÇÕES  
FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, DE CRESCIMENTO E DA  
PRODUÇÃO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Ana Paula Piccinin Barbieri**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

# **TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, DE CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO**

**Ana Paula Piccinin Barbieri**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia.**

**Orientador: Prof. Dr. Sidinei José Lopes**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Piccinin Barbieri, Ana Paula  
TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: AVALIAÇÕES  
FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, DE CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO /  
Ana Paula Piccinin Barbieri.-2014.  
91 p. ; 30cm

Orientador: Sidinei José Lopes  
Coorientadores: Liliane Marcia Mertz Henning, Lia  
Rejane Reininger, Alberto Cargnelutti Filho  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2014

1. Zea mays L. 2. Tiametoxam 3. Stimulate 4. Ácido  
giberélico 5. Tratamento de Sementes I. Lopes, Sidinei  
José II. Mertz Henning, Liliane Marcia III. Reininger,  
Lia Rejane IV. Cargnelutti Filho, Alberto V. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Ana Paula Piccinin Barbieri. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.  
E-mail: apaulabarbieri@yahoo.com.br

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado**

**TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: AVALIAÇÕES  
FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, DE CRESCIMENTO E DA  
PRODUÇÃO**

elaborada por  
**Ana Paula Piccinin Barbieri**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Sidinei José Lopes, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Lia Rejane Silveira Reininger, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

**Ubirajara Russi Nunes, Dr.** (UFSM)

**Géri Eduardo Meneghello** (UFPeI)

**Liliane Marcia Mertz Henning** (EMBRAPA Soja)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de Doutorado.

Ao professor Sidinei José Lopes, pela orientação, paciência, ensinamentos e exemplo profissional.

A professora Liliane Marcia Mertz Henning pelos preciosos ensinamentos, pela amizade, pelo carinho e apoio durante a realização desse curso e de outros trabalhos.

Aos professores Alberto Cargnelutti Filho e Luciane Almeri Tabaldi pelo auxílio durante o desenvolvimento do projeto e pela presteza e disponibilidade do espaço.

A minha família, pelo exemplo de honestidade, humildade e perseverança.

Ao meu noivo, Eduardo, pelo amor, incentivo e compreensão.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Sementes e do Departamento de Fitotecnia, pela amizade e auxílio durante a condução do trabalho.

Aos amigos e colegas do Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes e de Experimentação Vegetal da UFSM: Gerusa M. Conceição, Fernando Haesbaert, Caroline Huth, Samantha Segalin, Manoela Beche, Fabrício Fuzzer, Humberto Zen, Ingrid Cabrera, Carina Ceolin, Juan Paulo Barbieri, Pedro Padilha e Ismael Schwantes pela colaboração fundamental na realização dos trabalhos, pela disponibilidade e amizade.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, e não estão nominalmente citados.

**Muito Obrigada!**

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, DE CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO**

AUTORA: ANA PAULA PICCININ BARBIERI

ORIENTADOR: SIDINEI JOSÉ LOPES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2014.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a interferência de produtos reguladores de crescimento, no tratamento de sementes, sobre: o potencial fisiológico e a atividade bioquímica em condições normais e de déficit hídrico; o potencial fisiológico em condições de estresse salino; os modelos de crescimento; e, o desempenho em campo e produtividade de híbridos de milho. Para isso, diferentes experimentos foram conduzidos em laboratório e, em área experimental de campo, utilizando híbridos de milho e os produtos: ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam. De maneira geral, o efeito dos produtos com função de regulador do crescimento vegetal, no tratamento de sementes varia com o híbrido utilizado e com o ambiente. Ácido giberélico e stimulate<sup>®</sup> promovem aumento na velocidade de germinação tanto em condições normais quanto, quando submetidas a estresses. Todos os produtos atuam de forma benéfica sobre o estabelecimento das plântulas de milho em campo. O tratamento de sementes com tiametoxam e Stimulate<sup>®</sup>, possibilita maior taxa de crescimento. No entanto, as diferenças de vigor e crescimento observadas não se refletem em maior produtividade. Além disso, superóxido dismutase e guaiacol peroxidase não apresentam relação com o melhor desempenho de plantas sob deficiência hídrica, quando tratadas com produtos reguladores de crescimento.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Tiametoxam. Ácido giberélico. Stimulate<sup>®</sup>.

## **ABSTRACT**

Doctor Thesis  
Graduate Program in Agronomy  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MAIZE SEEDS TREATMENT: PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL, GROWTH AND PRODUCTION ANALYSIS**

AUTHOR: ANA PAULA PICCININ BARBIERI  
ADVISER: SIDINEI JOSÉ LOPES  
Santa Maria, February 26<sup>th</sup>, 2014.

The aim of this study was to evaluate the effect of growth regulator products in seed treatment, on the physiological potential and biochemical activity at normal conditions and drought; the physiological potential in salt stress; the growth models; and the field performance and productivity of maize hybrids. Thus, different experiments were conducted in the laboratory and an experimental field area using maize hybrids (30F53H and CD393) and the products: gibberellic acid, Stimulate<sup>®</sup> and thiamethoxam. In general, the effect of the products on the function of plant growth regulator in the seed treatment varies according to the hybrid and the environmental conditions. Gibberellic acid and Stimulate promote an increase on germination rate in both normal and stressed conditions. All products acted beneficially on the seeding establishment of maize in the field. Treatment with thiamethoxam and Stimulate allow faster growth rates. However, the observed differences in vigor and growth are not reflected in higher productivity. Moreover, superoxide dismutase and guaiacol peroxidase do not result the improved performance of plants under water deficit, when treated with growth regulator products.

**Key words:** *Zea mays* L. Thiamethoxam. Gibberellic acid. Stimulate<sup>®</sup>.

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>17</b>
Figura 1 – Conteúdo endógeno de produtos oxidativos ( $H_2O_2$ ) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam. A: nível de $H_2O_2$ na parte aérea. B: nível de $H_2O_2$ nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido ( $P \leq 0,05$ ). Santa Maria, UFSM, 2013. ....	27
Figura 2 – Peroxidação lipídica (TBARS) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam. A: peroxidação lipídica na parte aérea. B: peroxidação lipídica nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido ( $P \leq 0,05$ ). Santa Maria, UFSM, 2013. ....	29
Figura 3 – Atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam. A: atividade POD na parte aérea. B: atividade POD nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido ( $P \leq 0,05$ ). Santa Maria, UFSM, 2013. ....	31
Figura 4 – Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3 Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam. A: atividade SOD na parte aérea. B: atividade SOD nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido ( $P \leq 0,05$ ). Santa Maria, UFSM, 2013. ....	32
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>71</b>
Figura 1 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2011/2012. Santa Maria, UFSM, 2012. T1: 30F53H (testemunha); T2: 30F53H (AG <sub>3</sub> ); T3: 30F53H (Stimulate®) e T4: 30F53H (Tiametoxam). ....	79

- Figura 2 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2011/2012. Santa Maria, UFSM, 2012. T5: CD393 (testemunha); T6: CD393 (AG<sub>3</sub>); T7: CD393 (Stimulate<sup>®</sup>) e T8: CD393 (Tiametoxam).....80
- Figura 3 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2012/2013. Santa Maria, UFSM, 2013. Santa Maria, RS, 2013. T1: 30F53H (testemunha); T2: 30F53H (AG<sub>3</sub>); T3: 30F53H (Stimulate<sup>®</sup>) e T4: 30F53H (Tiametoxam).. .....81
- Figura 4 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2012/2013. Santa Maria, UFSM, 2013. T5: CD393 (testemunha); T6 CD393 (AG<sub>3</sub>); T7: CD393 (Stimulate<sup>®</sup>) e T8: CD393 (Tiametoxam).....82

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>17</b>
Tabela 1 – Médias da porcentagem de germinação (G, %), primeira contagem da germinação (PC, %), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento total de plântulas (CTO, cm) e massa seca total de plântulas (MSTO, cm), em resposta a diferentes produtos no tratamento de sementes, em híbridos de milho e em dois potenciais hídricos, comparadas a testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2013. ....	25
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>36</b>
Tabela 1 – Média dos híbridos CD393 e 30F53H para as variáveis: germinação (G, %), primeira contagem da germinação (PC, %) e índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA, cm) e raiz (CRA, cm), fitomassa seca de plântulas (FS, g), avaliadas em cinco potenciais osmóticos, submetidos a produtos para tratamento de sementes. Santa Maria - UFSM, 2013. ....	42
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>50</b>
Tabela 1 – Médias da porcentagem de germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (TF) e índice de velocidade de germinação (IVG), em resposta a diferentes produtos com função de reguladores do crescimento vegetal em dois híbridos de milho. Santa Maria, UFSM, 2013. ....	58
Tabela 2 – Médias do comprimento de parte aérea (CPA), raiz (CRA) e total (CTO) e fitomassa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSRA) e total (MSTO) de plântulas em resposta a diferentes produtos com função de reguladores do crescimento vegetal, em dois híbridos de milho. Santa Maria, UFSM, 2013.....	59
Tabela 4 – Médias do número de espigas por metro (NESP.m <sup>-1</sup> ), número de grãos por espiga (NG.esp <sup>2(-1)</sup> ), massa de 100 grãos (MCG, g) e produtividade (Kg.ha <sup>-1</sup> ), de duas safras agrícolas 2011/12 e 2012/13, de híbridos de milho, 30F53H e CD393 e de tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG <sub>3</sub> ), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2012.....	63
Tabela 5 – Médias de emergência a campo (EM, %), estande de plantas (EST, plantas.m <sup>-1</sup> ), altura de plantas (ALT, cm), número de folhas (NF) e diâmetro de colmo (DC, cm), de híbridos de milho, 30F53H e CD393 submetidos ao tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG <sub>3</sub> ), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água, em duas safras agrícolas. Santa Maria, UFSM, 2012.....	64

Tabela 6 – Médias do número de espigas por metro (NESP.m <sup>-1</sup> ), número de grãos por espiga (NG.esp <sup>-1</sup> ), massa de 100 grãos (MCG, g) e produtividade (Kg.ha <sup>-1</sup> ), de híbridos de milho, 30F53H e CD393 submetidos ao tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG <sub>3</sub> ) Stimulate <sup>®</sup> , tiametoxam e testemunha com água, em duas safras agrícolas. Santa Maria, UFSM, 2013.....	66
---	----

**CAPÍTULO IV.....71**

Tabela 1 – Estimativa e limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança do parâmetro $\alpha$ , ponto de inflexão – PI (°C dia) do modelo do co-seno ajustado para estatura de plantas de milho, em diferentes híbridos e tratamentos de sementes, na safra 2011/12. Santa Maria, RS, 2012. ....	79
---	----

Tabela 2 – Estimativa e limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança do parâmetro $\alpha$ , ponto de inflexão – PI (°C dia) do modelo logístico ajustado para estatura de plantas de milho, em diferentes híbridos e tratamentos de sementes, na safra 2012/13. Santa Maria, RS, 2013. ....	80
--	----

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (TF), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento total de plântulas (CTO) massa seca total de plântulas (MSTO) em dois híbridos de milho (30F53H e CD393), submetidas a dois potenciais hídricos (0,0 e -0,3) e reguladores do crescimento (testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam)..... 86
- Anexo B – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: peroxidação lipídica (TBARS), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), Guaiacol Peroxidase (POD) e Superóxido Dismutase (SOD), na parte aérea e raiz de plântulas de dois híbridos de milho (30F53H e CD393), submetidas a dois potenciais hídricos (0,0 e -0,3) e reguladores do crescimento (testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam)..... 87
- Anexo C – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: germinação (G), primeira contagem (PC), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA), de raiz (CRA) e massa seca de plântulas (MS). ..... 88
- Anexo D – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), teste de frio (TF), índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de dois híbridos de milho, 30F53H e CD393, tratadas com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2012. .... 88
- Anexo E – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CRA), comprimento total (CTO), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSRA) e massa seca total (MSTO) de sementes de dois híbridos de milho, 30F53H e CD393, tratadas com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2012. .... 89
- Anexo F – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: emergência de plântulas (EM), estande de plantas por metro (EST), altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), número de espigas por metro (NESP/m), número de grãos por espigas (NG/esp), massa de 100 sementes (MCS) e produtividade (PROD) de sementes de dois híbridos de milho, 30F53H e CD393, tratadas com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água, em duas safras agrícolas 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, UFSM, 2012. .... 90

Anexo G – Precipitação, temperatura mínima e máxima do ar no período compreendido entre dezembro de 2011 e março de 2012 (safra 2011/12) (A) e dezembro de 2012 e março de 2013 (safra 2012/13) (B). Dados climáticos coletados na Estação Meteorológica de Santa Maria da Universidade Federal de Santa Maria. ....	91
--	----

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>17</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE SEMENTES DE MILHO TRATADAS SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO .....</b>	<b>17</b>
Introdução .....	18
Material e Métodos.....	20
Resultados e discussão.....	24
Conclusões.....	33
Referências .....	33
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>36</b>
<b>TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO E O DESEMPENHO DE PLÂNTULAS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO.....</b>	<b>36</b>
Introdução .....	37
Material e métodos.....	38
Resultados e discussão.....	41
Conclusões.....	46
Referências .....	47
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>50</b>
<b>TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E AGRONÔMICAS.....</b>	<b>50</b>
Introdução .....	51
Material e Métodos.....	52
Resultados e discussão.....	56
Conclusões.....	67
Referências .....	67
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>71</b>
<b>MODELOS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO OBTIDAS POR DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES.....</b>	<b>71</b>
Introdução .....	72
Material e Métodos.....	74
Resultados e discussão.....	77

Conclusões.....	82
Referências .....	83
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## INTRODUÇÃO

As sementes representam o principal insumo da agricultura moderna, por possuírem todo o potencial genético e produtivo, que garantem o sucesso do empreendimento agrícola. O modelo de produção agrícola atual exige cada vez mais a utilização de ferramentas tecnológicas para fomentar a produtividade, promover uma agricultura sustentável e que ao mesmo tempo proporcione renda ao produtor e garantia de segurança alimentar à população.

Cultivos tecnológicos como o milho, absorvem inovações no sistema produtivo. Baseado nisso, têm surgido no mercado novos produtos, à base de hormônios, micronutrientes, aminoácidos, além de agroquímicos com efeito hormonal, conhecidos como reguladores do crescimento vegetal, para serem incorporados às sementes.

Reguladores do crescimento vegetal desempenham um papel vital no crescimento de plantas, e suas respostas são significativamente importantes no entendimento dos mecanismos de aclimatação de plantas. Muitas das enzimas produzidas pela planta em condições normais ou de estresse são induzidas por hormônios, tais como: giberelinas, citocininas, auxinas, ácido abscísico e ácido salicílico.

Entre as giberelinas, o ácido giberélico é citado como o hormônio da germinação, pois desencadeia a síntese de enzimas envolvidas na degradação das reservas que servirão para a nutrição e crescimento do embrião gerando uma nova plântula. Apesar de endógeno, pode ser fornecido às plantas através da aplicação do composto AG<sub>3</sub>, secretado pelo fungo *Gibberella fujikuroi*. Também, encontram-se no mercado produtos com diferentes combinações de hormônios, tais como: ácido indol butírico (auxina), cinetina (citocinina) e ácido giberélico (giberelina), sendo conhecidos como bioestimulantes. Essa combinação pode levar a efeitos nos processos fisiológicos, como crescimento, desenvolvimento e formação de órgãos.

Os agroquímicos de efeito hormonal são aqueles que além de apresentar eficácia no controle de pragas e doenças, têm levado a efeitos fisiológicos nas plantas, capazes de modificar seu metabolismo e morfologia, de modo a influenciar o seu crescimento e rendimento. Entre essas moléculas, tem destaque o tiametoxam, que é um inseticida sistêmico do grupo dos neonicotinóides, porém,

segundo dados da literatura, é capaz de potencializar a produção agrícola, através de aumento do vigor em plântulas, além de proteção de plântulas em condições de estresses abióticos, através do estímulo à produção de enzimas antioxidantes.

O milho é uma importante fonte de nutrição e energia no mundo, se destaca por ser fonte de matéria-prima que subsidia desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, apresenta uma elevada gama de utilização e elevado impacto econômico mundial. Na prática, essa cultura é extremamente suscetível aos fatores abióticos e bióticos. Fatores como o estresse hídrico ou solos salinos podem limitar a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas de milho, portanto, para evitar perdas por esses fatores, pode-se utilizar o tratamento de sementes a fim de incrementar o desempenho de plântulas no início do crescimento.

Esse trabalho justifica-se pela grande utilização desses produtos com efeito de reguladores do crescimento vegetal na agricultura brasileira. No entanto, pouco se sabe sobre o real efeito desses produtos, quando aplicados exogenamente, sobre a qualidade fisiológica, bioquímica e na produtividade da cultura de milho, em condições normais e de estresse. Dessa forma, o estudo aspira informar as reais implicações do uso dessas tecnologias, no tratamento de sementes, na cultura de milho.

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a interferência de produtos que atuam como reguladores de crescimento, no tratamento de sementes, sobre: o potencial fisiológico e a atividade bioquímica em condições normais e de déficit hídrico (Capítulo I); o potencial fisiológico em condições de estresse salino (Capítulo II); os modelos de crescimento (Capítulo III); e, o desempenho em campo e produtividade de híbridos de milho (Capítulo IV).

## CAPÍTULO I

### CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE SEMENTES DE MILHO TRATADAS SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO

**Physiological and biochemical characterization of maize seeds treated submitted to water deficit**

#### Resumo

A importância da água é permanente durante todo o ciclo da cultura de milho, embora possam ser reconhecidos períodos críticos de maior dependência, como a fase de germinação. O objetivo do presente trabalho foi estudar o efeito de diferentes produtos reguladores de crescimento aplicados em sementes de milho, em condição de déficit hídrico, na germinação, no crescimento inicial de plântulas e em parâmetros relacionados ao estresse oxidativo. Para tanto, foi desenvolvido experimento no delineamento inteiramente casualizado, em esquema trifatorial, com quatro repetições, com híbridos de milho (30F53H e CD393); os produtos (ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam e testemunha) e dois potenciais hídricos distintos, zero (condição normal) e -0,3MPa (déficit hídrico), simulados com solução de PEG 6000. O desempenho fisiológico das sementes foi avaliado em laboratório, mediante os testes de germinação, primeira contagem e índice de velocidade de germinação, comprimento e fitomassa seca de plântulas. Nas avaliações bioquímicas, foram medidas as atividades das enzimas superóxido dismutase e guaiacol peroxidase e os conteúdos de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, quantificados através de espectrofotometria. Em condições normais, os produtos com efeito de reguladores de crescimento não afetam a germinação das sementes, enquanto que em condições de déficit hídrico a estimulam, dependendo do estresse hídrico utilizado. Ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup> promovem maior velocidade de germinação tanto em condições normais, quanto em condições de estresse. Superóxido dismutase e guaiacol peroxidase não apresentam relação com o melhor desempenho de plantas sob deficiência hídrica, quando tratadas com reguladores de crescimento.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Vigor. Enzimas antioxidantes.

## Abstract

The importance of water is permanent throughout the cycle of maize, although critical periods of increased dependency, as the germination phase can be recognized. The objective of this work was to study the effect of different growth regulators applied in maize seeds in water stress conditions, in germination, in initial growth of seedlings and in oxidative stress-related parameters. Thus, the experiment was developed in a completely randomized design in factorial design, with four replications, with maize hybrids (Pioneer 30F53H and CD393), plant growth regulators (gibberellic acid, Stimulate<sup>®</sup> and thiametoxan) and two different water potentials, zero and - 0.3 MPa, simulated with PEG 6000 solution. The physiological performance of seeds was evaluated in the laboratory by a germination test, first count and rate of germination and length and dry weight of seedlings. Biochemical evaluations were quantified by spectrophotometry superoxide dismutase and guaiacol peroxide activities, hydrogen peroxide content and lipid peroxidation. Under normal conditions, substances with effects of growth regulators did not affect seed germination, whereas in water deficit conditions did stimulate growth, depending on the hybrid used. Both, gibberellic acid and Stimulate<sup>®</sup> promote faster germination in normal conditions and in conditions of stress. The seed treatment products with effect of growth regulators had little influence on the antioxidant system in maize, thus is not possible to attribute it to better initial performance under conditions of water stress.

**Key words:** *Zea mays* L. Vigor. Antioxidant enzymes.

## Introdução

O déficit hídrico é um dos principais problemas que interferem na produtividade do milho (GALON; TIRONI, 2010), sendo a época de semeadura e o período da pré-floração ao início de enchimento de grãos os estádios mais críticos da cultura, tanto para o estabelecimento da cultura no campo como para a produtividade de grãos (DURÃES et al., 2004).

A disponibilidade de água é um dos fatores primordiais mais importantes para que ocorra a germinação (KHAJEH-HOSSEINI et al., 2003), pois constitui a matriz

onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos e fisiológicos. A primeira etapa da germinação se processa com a absorção de água pela semente, mediante embebição (TAIZ; ZEIGER, 2009). Da absorção de água resulta a reidratação dos tecidos, com a conseqüente intensificação da respiração e de todas as demais atividades metabólicas que culminam com o fornecimento de energia e de nutrientes necessários para a retomada do crescimento do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 2005).

Potenciais hídricos muito negativos, especialmente no início da embebição, influenciam a absorção da água, atrasando e diminuindo a germinação e o vigor de sementes e o crescimento de plântulas de milho (VERSLUES et al., 2006; KAPPES et al., 2010). A diminuição da germinação de sementes submetidas ao déficit hídrico pode ser atribuída principalmente à redução das atividades enzimáticas (MACHADO NETO et al., 2006), que leva a danos oxidativos em nível celular. As espécies reativas de oxigênio (EROs) como ânion superóxido e peróxido de hidrogênio podem causar danos diretos nos lipídios da membrana, proteínas e DNA, levando à morte da célula (MITTLER, 2002).

Em condições ideais de crescimento, o equilíbrio entre a formação de EROs e o consumo é controlado pelo sistema antioxidante de defesa da planta. As enzimas superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD) são antioxidantes que desempenham papel fundamental na defesa contra as EROs (SIMOVA et al., 2008). A SOD é uma família de enzimas que catalisam a dismutação do ânion superóxido para peróxido de hidrogênio em organelas e no citosol, enquanto a peroxidase está localizada em vacúolos, nas paredes celulares e no citosol, a qual utiliza o peróxido de hidrogênio para a oxidação do substrato. O equilíbrio entre a produção e a eliminação de EROs pode ser perturbado por fatores ambientais adversos. Como resultado destes distúrbios, os níveis intracelulares de EROs pode subir rapidamente (GILL; TUTEJA, 2010), dependendo do genótipo, intensidade e duração do estresse, bem como da fase de desenvolvimento (HAMEED et al., 2011).

Portanto, existe a necessidade de combater os efeitos adversos do estresse hídrico sobre o desempenho de plântulas de milho e encontrar mecanismos que possibilitem o estabelecimento rápido e uniforme das plântulas. A atenção tem sido voltada, atualmente, no uso de produtos que atuam como reguladores do crescimento vegetal, que são conhecidos por serem importantes na regulação de respostas das plantas ao ambiente externo.

Pesquisas têm relatado melhorias no vigor de sementes, emergência de plântulas, crescimento e produtividade com o uso de substâncias com efeito do regulador de crescimento, especialmente em condições adversas. Por exemplo, a aplicação de ácido giberélico pode reduzir o efeito de estresses abióticos através do aumento de fito-hormônios endógenos, como o ácido jasmônico, que ativa os mecanismos de defesa da planta em resposta a condições de seca, baixa temperatura, salinidade e ataque de patógenos (HAMAYUN et al., 2010). O tiametoxam é um inseticida da classe dos neonicotinóides, porém pode induzir as defesas da planta através do estímulo a produção de ácido salicílico, o qual é uma substância conhecida pelo seu papel na defesa da planta contra patógenos e como indutor de resistência sistêmica adquirida, também podendo modular a resposta a estresses abióticos, como seca e influenciar o sistema antioxidante das plantas (FORD et al., 2010; CATANEO et al., 2010). Outros produtos compostos pela interação de diferentes hormônios (ácido giberélico, auxina e citocinina) também podem aumentar a tolerância a estresses, por estes estarem relacionados ao mecanismo de crescimento e desenvolvimento de plantas (VIEIRA; CASTRO, 2001; ÁVILA et al., 2008).

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi estudar o efeito de reguladores de crescimento aplicados em sementes de milho, em condições de déficit hídrico, no desempenho inicial e em parâmetros ligados ao estresse oxidativo de plântulas.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, em 2013, utilizando uma câmara de incubação, tipo *Biological Organism Development* (BOD), equipada com timer digital microprocessado para termoperíodo e fotoperíodo, potência de 280W, circulação de ar forçada no sentido vertical e precisão de temperatura  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

Utilizaram-se sementes de dois híbridos de milho: 30F53H e CD393, provenientes da safra 2012/2013. O híbrido 30F53H apresenta alta produtividade; é utilizado como testemunha em empresas de melhoramento; e possui a tecnologia Herculex, que confere tolerância à lagarta do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*) e outros três insetos; e, o híbrido CD393; e, altamente produtivo e recomendado para a Região Sul.

As sementes dos híbridos foram tratadas com produtos que atuam como reguladores de crescimento: ácido giberélico (Pró-gibb), Stimulate<sup>®</sup> (0,009% citocinina, 0,005% giberelina e 0,005% de auxina), tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>) e testemunha, nas respectivas doses de 50g para 100Kg de sementes, 1500mL para 100Kg de sementes e 120mL para 60000 sementes conforme recomendações para cultura de milho, e a testemunha tratada com água, na dose de 150mL para 60000 sementes. O ácido giberélico é considerado o hormônio da germinação; o tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>) é um inseticida da classe dos neonicotinóides e existem relatos de técnicos e pesquisadores, nos últimos anos, de seu efeito enraizador, principalmente em condição de estresse ambiental; o Stimulate<sup>®</sup> é constituído por diferentes hormônios (auxina, citocinina e ácido giberélico).

O tratamento das sementes foi realizado em sacos plásticos, com capacidade para três litros, utilizando 500g de sementes por saco. A quantidade de produto adicionada foi baseada no peso de mil sementes para cada híbrido, e as sementes foram agitadas até a completa distribuição dos produtos na superfície das sementes.

Para a avaliação da influência do déficit hídrico na qualidade fisiológica das sementes, utilizou-se papel germitest saturado com solução de polietilenoglicol 6000 (PEG 6000), ajustando-se para a obtenção do nível de potencial osmótico -0,3MPa. O nível zero de potencial osmótico foi utilizado como testemunha. A concentração de PEG 6000 requerida para se obter esse nível foi determinada utilizando a equação de Michel e Kaufmann (1973):  $\Psi_s = - (1.18 \times 10^{-2}) C - (1.18 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2T$ , onde  $\Psi_s$  = potencial osmótico (bar); C = concentração (g L<sup>-1</sup> PEG 6000 em água); T = temperatura (°C). A água utilizada neste experimento foi deionizada.

Após os tratamentos, as sementes foram submetidas aos testes e determinações, descritos abaixo, para verificar o efeito dos mesmos no desempenho inicial de plântulas.

Germinação de sementes: foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes para cada lote, semeadas em rolos de papel, em condição de déficit hídrico, simulado com solução de PEG 6000 e em condição normal, hidratando a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidos em germinador regulado à 25°C. As avaliações foram realizadas aos sete dias, após início do teste, conforme as RAS (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem de germinação: conjuntamente com o teste de germinação foi realizada a primeira contagem da germinação, computando os dados obtidos após o quarto dia da instalação do teste.

Índice de velocidade de germinação: também realizado em conjunto com o teste de germinação. Para essa determinação foram feitas contagens diárias das plântulas germinadas. O índice foi calculado utilizando-se a equação descrita por Nakagawa (1994):  $IVG = G_1N_1^{-1} + G_2N_2^{-1} + \dots + G_nN_n^{-1}$ , onde IVG = Índice de velocidade de germinação;  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_n$  = número de plântulas normais na primeira, segunda e enésima contagem;  $N_1$ ,  $N_2$  e  $N_n$  = número de dias.

Comprimento de plântulas: foram utilizadas quatro repetições de 20 sementes, semeadas sobre papel germitest sendo avaliado em 15 plântulas, após sete dias, o comprimento radicular das plântulas normais e da parte aérea, com auxílio de uma régua milimetrada.

Fitomassa seca de plântulas: determinada nas plântulas selecionadas para o teste de comprimento de plântulas, as quais, logo após esta determinação, foram colocadas em sacos de papel e mantidas em estufa regulada à 60°C por 48 horas. Depois as mesmas foram retiradas da estufa, resfriadas, e determinou-se a fitomassa em balança analítica de precisão (0,001g).

As plântulas do teste de germinação foram separadas em raiz e parte aérea para realização de testes bioquímicos, descritos abaixo, com o objetivo de verificar o efeito destes produtos em parâmetros relacionados ao estresse oxidativo, quando em condições de déficit hídrico. As determinações foram realizadas aos sete dias (plântulas):

Determinação do conteúdo de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ): o conteúdo de  $H_2O_2$  na parte aérea e nas raízes das plântulas oriundas de sementes tratadas com os produtos e testemunha foi determinado de acordo com Loreto e Velikova (2001). Os tecidos (0,05g) foram homogeneizados num banho de gelo com 1,5mL de 0,1% (w/v) ácido tricloroacético (TCA). Os tubos foram agitados durante 20 segundos, e depois a mistura foi centrifugada à 12000 g durante 15min e 0,5mL do sobrenadante foram adicionados a 500ul de 10mM do tampão fosfato de potássio (pH 7,0) e 0,5mL de 1M de KI. A absorvância do sobrenadante foi medido a 390nm. O teor de  $H_2O_2$  foi calculado por comparação com um padrão curva de calibração previamente feita usando diferentes concentrações de  $H_2O_2$ .

Peroxidação lipídica (TBARS): O nível de peroxidação lipídica foi realizado através da medição da acumulação de malondialdeído (MDA), de acordo com El-Moshaty et al. (1993). O conteúdo de MDA foi determinado pela reação de TBA. Resumidamente, as amostras (0,1g) foram homogeneizadas com 1,5ml de 0,2M de tampão citrato-fosfato (pH 6,5) contendo 0,5% de Triton X-100. A mistura foi centrifugada a 20.000 g durante 15min. Um mililitro da fração de sobrenadante foi adicionada a um volume igual de TCA a 20% contendo 0,5% (w / v) de TBA. Os tubos foram agitados durante 20 segundos, colocados em banho de água à 95°C durante 40min, e em seguida, imediatamente arrefecida em gelo durante 15min. As amostras foram centrifugadas a 10.000 g durante 15min. A absorvância do sobrenadante foi medida com um feixe duplo espectrofotômetro e este valor subtraído da absorvância inespecífica de leitura. As concentrações para as amostras de MDA foram calculados e os valores foram expressos em nmol de MDA/mg proteína.

Superóxido dismutase (SOD): A atividade da SOD foi realizada de acordo com Mc Cord e Fridovich (1969). Cerca de 0,06g de raiz e parte aérea de plântulas de milho foram homogeneizadas em 1,2mL de tampão contendo TFNa (50 mM) (pH 7,8), EDTA (1 mM) e PVP (2%) (w/v). Os tubos foram agitados durante 20 segundos e, depois, centrifugados a 13000 g durante 20 min à 4°C, e o sobrenadante foi utilizado para os ensaios. A mistura de ensaio consistiu de um volume total de 1mL, contendo tampão glicina (pH 10,5), 17uL de epinefrina (60mM) e de material de enzima. O intervalo de tempo para formação do adrenocromo, de 10 segundos entre as leituras até 2 min foi espectrofotometricamente registrado em 480nm.

Guaiacol Peroxidase (POD): Para a estimativa da POD, na parte aérea e raízes de plântulas foram homogeneizadas em um meio constituído por tampão fosfato de potássio 50mM (pH 7,0), EDTA 0,1mM e DTT 1mM. Para a medição da atividade, utilizou-se uma solução (3mL) contendo: tampão fosfato 50mM (pH 7,0), 20mM de guaiacol, 40mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e 0,1mL de material de enzima. A reação foi iniciada pela adição do material de enzima. O aumento na absorvância da solução de reação a 470nm foi registrado após 20 segundos.

Para realização da análise estatística de todos os testes, os dados foram testados quanto ao atendimento dos pressupostos do modelo matemático utilizando o aplicativo Action. As avaliações foram realizadas no delineamento inteiramente casualizado, em esquema trifatorial: potenciais osmóticos x híbridos x produtos

reguladores vegetais (2x2x4), com quatro repetições. As variáveis foram submetidas à análise de variância em 5% de probabilidade de erro. Os dados foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Scott-Knott, através do software Sisvar (FERREIRA, 2008). A apresentação dos resultados para variáveis transformadas foram realizadas com os valores originais, pelo programa Microsoft Office Excel.

## **Resultados e discussão**

Observou-se interação significativa entre produtos, potenciais hídricos e híbridos utilizados, para a maioria das variáveis testadas, exceto comprimento e massa seca de raiz e comprimento total (Anexo A). Desse modo, pode-se afirmar que a resposta dos híbridos aos tratamentos com produtos com efeito de regulador do crescimento variou em função do potencial hídrico utilizado.

O teste de germinação quando realizado em condições ideais de umidade, ou seja, potencial hídrico zero, não apresentou diferenças significativas entre os produtos (Tabela 1). Isso ocorre devido à alta qualidade das sementes utilizadas e, também em razão do teste não ser capaz de revelar diferenças de vigor em lotes de germinação semelhante, por ser realizado em condições ideais de luz, temperatura e umidade (HAMPTON; TEKRONY, 1995).

Em condições de déficit hídrico, observou-se efeito positivo dos produtos testados sobre a germinação. Para o híbrido 30F53H, o tiametoxam proporcionou a formação de maior número de plântulas normais, enquanto que para o híbrido CD393, todos os produtos testados apresentaram melhor resultado de germinação, em relação à testemunha. Dessa maneira, pode-se inferir que os produtos testados são eficientes em estimular a germinação, em condições de déficit hídrico. Para a cultura de milho, onde se preconiza que uma semente originará uma planta, pois a mesma não possui capacidade de compensação de perdas de plantas (LUDWIG et al., 2009) a utilização de produtos com a função de reguladores do crescimento consistiria uma alternativa viável, em condições de déficit hídrico.

Tabela 1 – Médias da porcentagem de germinação (G, %), primeira contagem da germinação (PC, %), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento total de plântulas (CTO, cm) e massa seca total de plântulas (MSTO, cm), em resposta a diferentes produtos no tratamento de sementes, em híbridos de milho e em dois potenciais hídricos, comparadas a testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2013.

Potencial	Híbrido	Produto	G	PC	IVG	CTO	MSTO
0,0 MPa	30F53H	Testemunha	99 a	61 b	35,58 b	27,59 a	0,980 a
		AG <sub>3</sub>	98 a	85 a	36,58 b	28,05 a	0,835 b
		Stimulate®	98 a	83 a	39,66 a	29,42 a	0,984 a
		Tiametoxam	99 a	65 b	35,67 b	23,88 b	0,849 b
	CD393	Testemunha	99 a	75 b	38,25 c	32,62 a	0,798 b
		AG <sub>3</sub>	95 a	89 a	38,75 c	31,54 a	0,752 b
		Stimulate®	97 a	91 a	47,91 a	32,72 a	0,929 a
		Tiametoxam	100 a	81 b	44,16 b	31,05 a	0,834 b
	Híbridos	Produtos	G	PC	IVG	CTO	MSTO
-0,3 Mpa	30F53H	Testemunha	88 b	58 a	30,43 b	9,60 b	0,323 a
		AG <sub>3</sub>	92 b	69 a	36,64 a	12,45 a	0,313 a
		Stimulate®	92 b	60 a	37,87 a	12,94 a	0,412 a
		Tiametoxam	100 a	65 a	38,19 a	12,03 a	0,306 a
	CD393	Testemunha	69 b	43 b	29,34 b	7,31 a	0,394 a
		AG <sub>3</sub>	88 a	59 a	36,57 a	8,16 a	0,312 a
		Stimulate®	85 a	63 a	35,29 a	8,74 a	0,316 a
		Tiametoxam	86 a	69 a	32,01 b	8,03 a	0,339 a

\*médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Com relação à velocidade de germinação, avaliados pelos testes de primeira contagem da germinação e índice de velocidade de germinação (Tabela 1), observou-se para os híbridos, que o tratamento de sementes com Stimulate® apresentou maior número e obtenção mais rápida de plântulas normais, em relação aos demais produtos, em condições normais. Isso implica em um rápido e adequado estabelecimento de plantas em campo, menor competição com plantas daninhas, menores custos ao produtor e, conseqüente, maior produtividade.

Quando em condições de déficit hídrico, a resposta variou de acordo com o híbrido, porém os produtos ácido giberélico e stimulate® apresentaram-se superiores aos demais, em relação à velocidade de germinação. A semelhança de efeitos desses produtos está na composição do stimulate®: giberelina e outros hormônios. O ácido giberélico é o hormônio responsável por ativar enzimas, no caso amilases, que atuam na fase de germinação (O'BRIEN et al., 2010) e, assim, com a aplicação de

giberelina exógena, ocorre a síntese dessas enzimas anteriormente que mobilizam mais rapidamente o amido para o crescimento do embrião.

Outro fato a ser destacado é de que as sementes e plântulas submetidas ao déficit hídrico apresentaram menor velocidade e percentual de germinação do que aquelas em condições normais de umidade. O processo de germinação envolve três etapas: embebição, ativação metabólica e retomada do processo de absorção de água (MARCOS FILHO, 2005). Assim, a água é essencial para germinação das sementes, uma vez que, ao se hidratarem, ocorre a reativação de diversas enzimas, e ainda síntese de outras, que irão desdobrar as substâncias de reservas, as quais são essenciais à retomada do crescimento do embrião da semente (BEWLEY; BLACK, 1985). E, em condições de diminuição da disponibilidade de água, ocorre um atraso na germinação dessas sementes.

Para o comprimento de plântulas (Tabela 1), em condições adequadas (potencial osmótico: 0,0), não se observou diferença entre os produtos, exceto para o tratamento de sementes com tiametoxam que apresentou menor comprimento. Já em condições de déficit hídrico (potencial osmótico: -0,3), para o híbrido 30F53H, todos os produtos utilizados foram superiores à testemunha e não diferiram estatisticamente do híbrido CD393. Para massa seca total de plântulas (Tabela 1), o tratamento de sementes com Stimulate<sup>®</sup> apresentou os melhores resultados, porém não diferiu da testemunha no híbrido 30F53H.

Em relação aos parâmetros relacionados ao estresse oxidativo, houve interação tripla significativa, para todas as variáveis avaliadas, exceto para a peroxidação lipídica da parte aérea de plântulas (Anexo B), o que significa que a resposta das enzimas à presença de produtos com efeito de reguladores de crescimento variou com o híbrido testado e com o déficit hídrico imposto.

Para o híbrido 30F53H, na parte aérea de plântulas sem déficit hídrico observou-se menor produção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), nas sementes tratadas com ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam, comparado com a testemunha (Figura 1A). Em condições de déficit hídrico (-0,3 MPa), plantas tratadas com ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup> também apresentaram menor produção de  $H_2O_2$  (Figura 1A). Assim, pode-se sugerir que, neste híbrido, esses produtos estejam ativando o sistema antioxidante das plântulas, reduzindo o acúmulo de  $H_2O_2$ , o qual poderia ocasionar um dano celular. Para o híbrido CD393 observou-se maior produção de  $H_2O_2$  na parte aérea das plântulas provenientes de sementes tratadas

com Stimulate<sup>®</sup> tanto em condições de estresse quanto em condições normais. O ácido giberélico foi o produto que apresentou os menores níveis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, na parte aérea, exceto para o híbrido CD393, em condição de déficit hídrico. As giberelinas são eficazes em estimular o alongamento do mesocótilo, promovendo rápido desenvolvimento da parte aérea da plântula (YAMAGUCHI, 2008; DAI; XUE, 2010). Dessa forma, o estímulo ao crescimento pode levar à diminuição da produção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na parte aérea. Esse comportamento não foi observado na raiz, onde os tratamentos de sementes com ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup> promoveram maior produção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Isso pode ser devido ao maior crescimento da parte aérea, e assim a planta direciona seus metabólitos para a nutrição desse órgão em detrimento do desenvolvimento da raiz. Isto pode levar a uma inibição do crescimento radicular e, conseqüente aumento da produção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

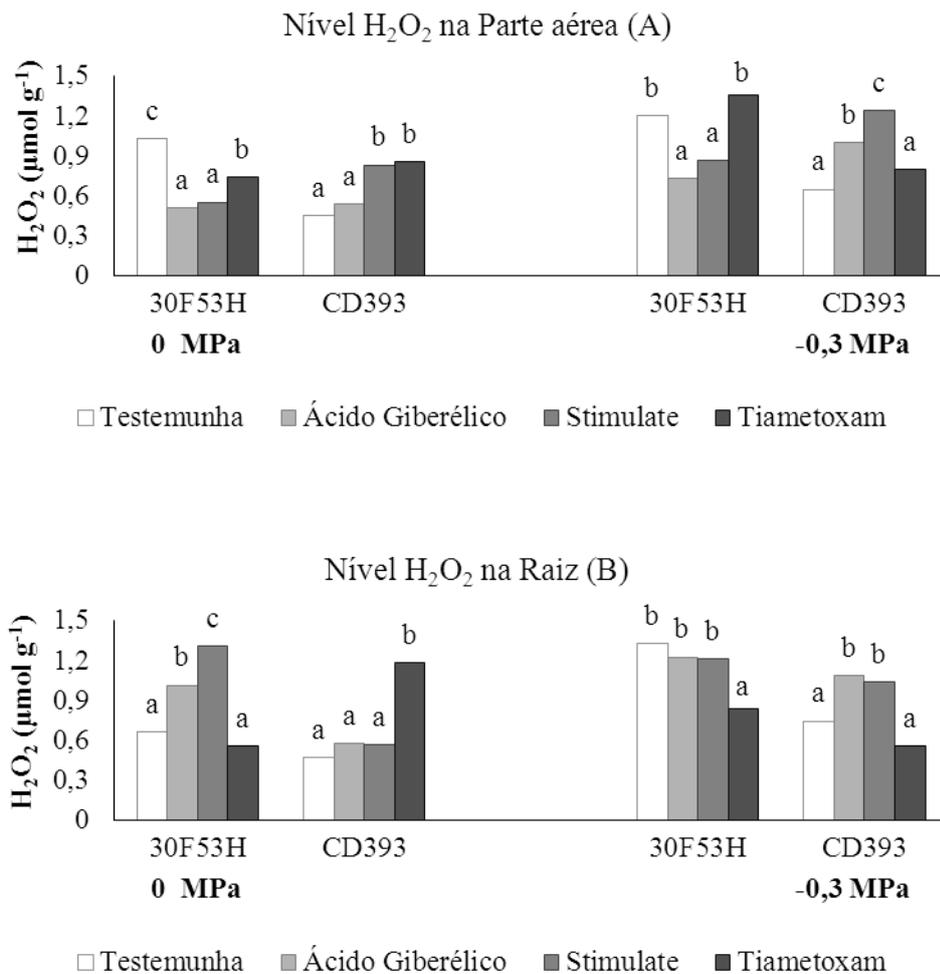


Figura 1 - Conteúdo endógeno de produtos oxidativos (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de

déficit hídrico (-0,3Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam. A: nível de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na parte aérea. B: nível de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido pelo teste de Scott-Knott (P < 0,05). Santa Maria, UFSM, 2013.

O tratamento de sementes com tiametoxam, em condições de déficit hídrico, foi o que apresentou menor nível de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, na raiz, para os dois híbridos, sendo que no híbrido CD393 não diferiu da testemunha (Figura 1B). Esse resultado concorda com Cataneo (2008), que observou o efeito do tiametoxam em estimular a elongação celular em nível radicular, por estimular a atividade da peroxidase, que pode agir no consumo das EROs, prevenindo o estresse oxidativo.

Espécies reativas de oxigênio, como H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, em condições de déficit hídrico podem causar peroxidação lipídica e conseqüentemente, lesão na membrana celular (HAMMEED et al., 2011). Neste estudo, o alto nível de peroxidação lipídica, no tratamento de sementes com Stimulate®, para o híbrido CD393 pode ser reflexo do alto nível de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na parte aérea (Figura 2A). Porém, esse fato não se aplica à todas as condições. Em condições normais, para os dois híbridos observou-se maior peroxidação lipídica na testemunha, indicando que o tratamento de sementes com os produtos evitam a formação de EROs e os seus efeitos deletérios sobre as constituintes da célula. Resultados semelhantes foram observados em soja (CATANEO et al., 2010) e arroz (GROHS, 2012). Em condições de déficit hídrico, para o híbrido 30F53H, também não houve aumento na peroxidação lipídica em plântulas provenientes do tratamento de sementes, tanto na parte aérea quanto na raiz (Figuras 2A e 2B). Isso significa que os produtos atuaram positivamente, protegendo as plântulas dos efeitos deletérios da formação de EROs, devido ao déficit hídrico. O mesmo comportamento não foi observado no híbrido CD393, em que a testemunha apresentou menor nível de peroxidação lipídica na parte aérea e na raiz das plântulas, comparado aos demais produtos.

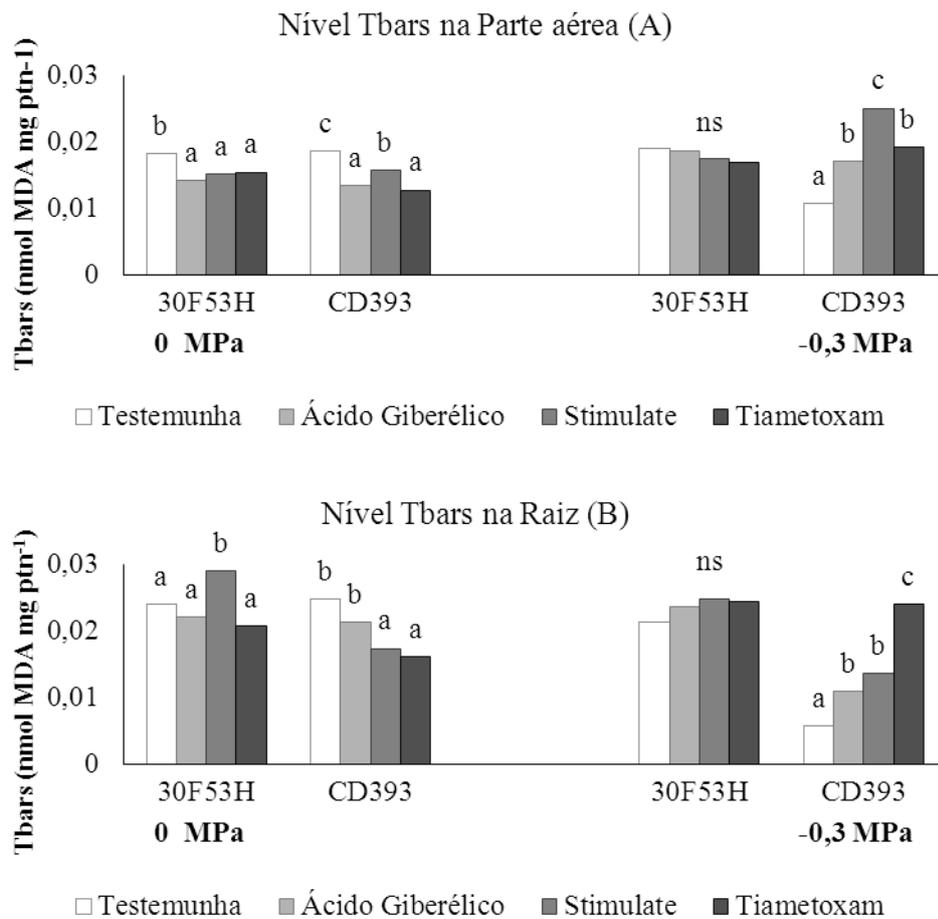


Figura 2 – Peroxidação lipídica (TBARS) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam. A: peroxidação lipídica na parte aérea. B: peroxidação lipídica nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). Santa Maria, UFSM, 2013.

Para mitigar a alta produção de EROs, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidante enzimático e não enzimático operando em nível celular. A extensão do estresse oxidativo numa célula é determinada pela quantidade de ânion superóxido,  $H_2O_2$  e radicais hidroxila. Portanto, o equilíbrio de atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) é importante para suprimir os níveis tóxicos de ROS de uma célula.

Em condições normais (potencial osmótico 0,0), para o híbrido 30F53H, na parte aérea, foi observada maior atividade da enzima guaiacol peroxidase para plântulas provenientes de sementes tratadas com Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam, enquanto na CD393, para ácido giberélico e tiametoxam (Figura 3A). Isso pode estar

relacionado à maior produção de  $H_2O_2$  e peroxidação lipídica, sendo que estas enzimas buscam o equilíbrio das EROs para não levar a morte da célula.

Já em condições de estresse (potencial osmótico -0,3), tanto na parte aérea quanto na raiz de plântulas observa-se maior atividade da enzima guaiacol peroxidase na testemunha em relação aos produtos com efeito de regulador do crescimento (Figuras 3A e 3B). É comum que plantas estressadas reajam desta forma, porque o  $H_2O_2$  produzido em maior quantidade, nas plântulas oriundas de sementes sem tratamento, atua como um segundo mensageiro no interior da célula (FORMAN et al., 2010), que conduz ao aumento da produção de enzimas antioxidantes, como as peroxidases, em uma tentativa de desintoxicar a célula. Esses resultados também indicam que os produtos utilizados no tratamento de sementes neste trabalho de alguma forma inibem a enzima guaiacol peroxidase, interferindo dessa forma no metabolismo oxidativo das células, principalmente durante situações de estresse.

A SOD é a primeira enzima na linha de defesa da planta, transformando o ânion superóxido em  $H_2O_2$ , enquanto enzimas POD desintoxicam  $H_2O_2$ . Assim, o ânion superóxido formado em resposta ao déficit hídrico é rapidamente convertido em  $H_2O_2$ , a qual é uma ERO menos tóxica. Para o híbrido 30F53H, maior atividade da SOD foi observada com o tratamento de sementes com o Stimulate<sup>®</sup>, enquanto no híbrido CD393, maior atividade foi observada no tratamento de sementes com tiametoxam (maior nível de  $H_2O_2$ ) (Figura 4A). Para o 30F53H não houve efeito significativo em condições de restrição hídrica e para o CD393 apenas tiametoxam apresentou maior atividade (menor nível de  $H_2O_2$ ), sendo que os demais produtos não diferiram entre si.

Na raiz (Figura 4B), em condições de déficit hídrico, observou-se maior atividade da SOD, com o uso do Stimulate<sup>®</sup> (maior nível de  $H_2O_2$ ), nos dois híbridos. Em condições normais, no híbrido 30F53H, verificou-se maior atividade com o tiametoxam e no híbrido CD393, com o ácido giberélico, que não diferiu da testemunha. Observa-se, assim, maior atividade da enzima SOD, naqueles tratamentos que apresentaram maior produção de  $H_2O_2$ .

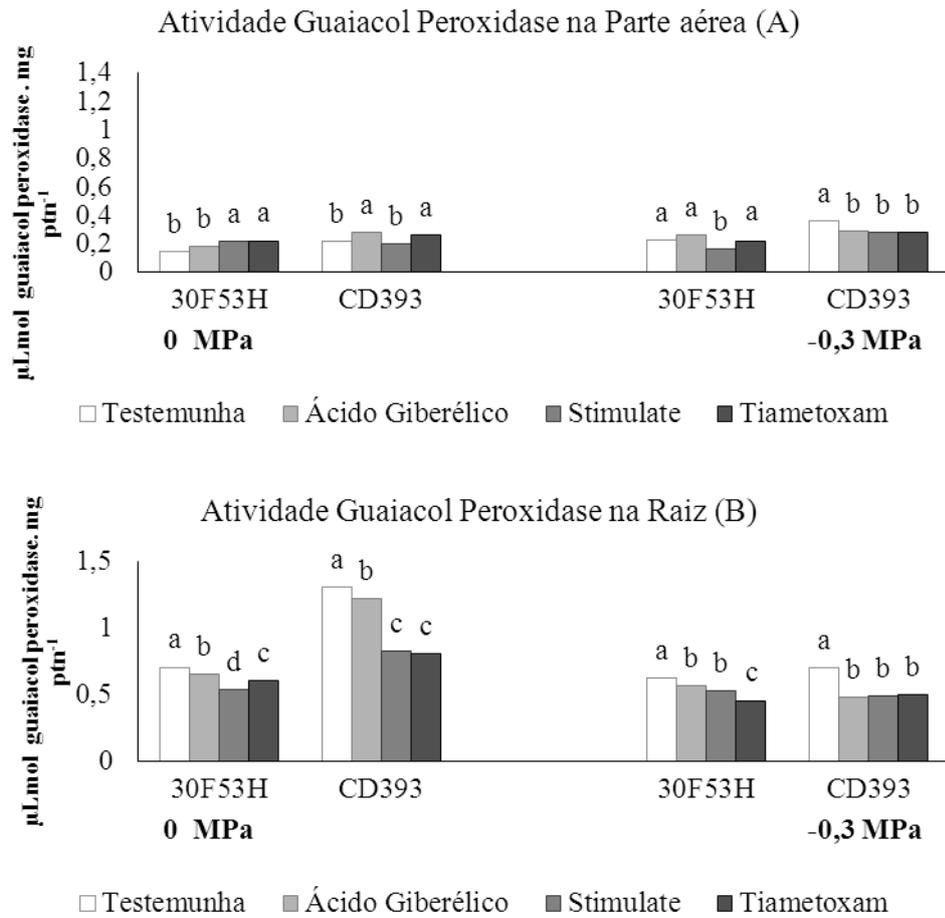
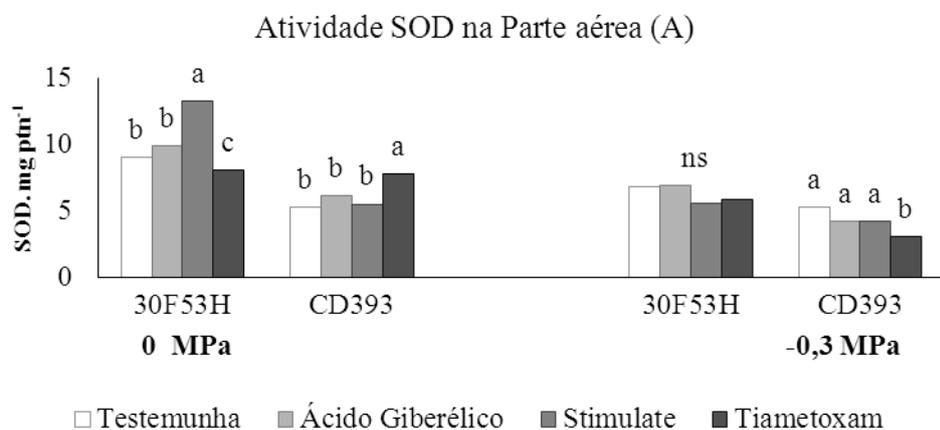


Figura 3 – Atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate® e tiametoxam. A: atividade POD na parte aérea. B: atividade POD nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). Santa Maria, UFSM, 2013.



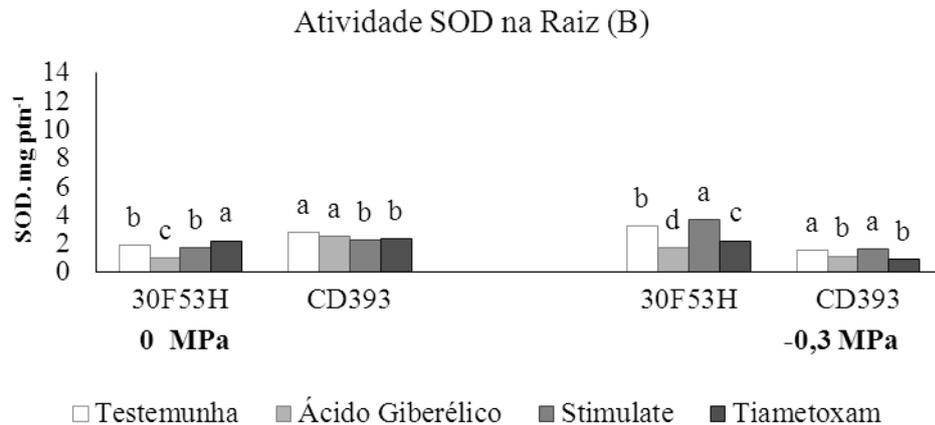


Figura 4 – Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em plântulas de híbridos de milho (30F53H e CD393) como resultado do tratamento de sementes com diferentes produtos em condições normais (0 Mpa) e de déficit hídrico (-0,3 Mpa): testemunha, ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam. A: atividade SOD na parte aérea. B: atividade SOD nas raízes. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os produtos dentro de cada híbrido, pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ) Santa Maria, UFSM, 2013.

De maneira geral, os produtos com efeito de reguladores de crescimento que apresentaram melhores respostas foram os que possuem base hormonal em sua constituição, ou seja ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup>. Dessa forma, os efeitos positivos observados nesses produtos podem ser explicados pelo seu papel na divisão celular e alongação celular, capazes de manter ou melhorar seu desenvolvimento, principalmente em condições de estresse.

Com relação as enzimas do estresse oxidativo, apesar de haver diferença estatística significativa entre os produtos para a maioria das situações, não foi observado um comportamento padrão de resposta. Além disso, não foi possível correlacionar esses dados com o maior desenvolvimento de plântulas. Dessa forma, as diferenças de desempenho de plântulas com o uso de ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup> podem estar relacionadas com o sistema antioxidante não enzimático (carotenóides, ácido ascórbico, tióis não protéicos) ou com as demais enzimas antioxidantes não analisadas neste trabalho (catalase, ascorbato peroxidase e glutathione redutase) exigindo trabalhos futuros para explorar melhor essas respostas.

## Conclusões

Em condições normais, as substâncias com efeitos de reguladores de crescimento não afetam a germinação das sementes, enquanto que em condições de déficit hídrico a estimulação da germinação, dependendo do híbrido utilizado.

Ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup> promovem maior velocidade de germinação tanto em condições normais, quanto em condições de estresse.

Superóxido dismutase e guaiacol peroxidase não apresentam relação com o melhor desempenho de plantas sob deficiência hídrica, quando tratadas com reguladores de crescimento.

## Referências

ÁVILA, M.R. et al. Bioregulator application, agronomic efficiency, and quality of soybean seeds. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 604-612, 2008.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination**. New York, Plenum Press. 367p., 1985.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.

CATANEO, A.C. Ação do tiametoxam (thiamethoxam) sobre a germinação de sementes de soja (*Glycine max* L.): enzimas envolvidas na mobilização de reservas e na proteção contra situações de estresse (deficiência hídrica, salinidade e presença de alumínio). In: GAZZONI, D.L. **Tiametoxam: Uma revolução na agricultura brasileira**. 1<sup>o</sup>ed., São Paulo: Vozes. 2008.

CATANEO, A.C. et al. Improved germination of soybean seed treated with thiamethoxam under drought conditions. **Seed Science and Technology**, v. 38, n.1, p. 248-251, 2010.

DAI, C.; XUE, H. Rice early flowering1, a CKI, phosphorylates DELLA protein SLR1 to negatively regulate gibberellin signaling. **The EMBO Journal**, v. 29, p. 1916-1927, 2010.

DURÃES, F.O.M. et al. Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores. Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, v. 35, 2004. 20 p.

EL-MOSHATI, F.I.B. et al. Lipid peroxidation and superoxide production in cowpea (*Vigna unguiculata*) leaves infected with tobacco ringspot virus or southern bean

mosaic virus. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 43, p. 109-119, 1993.

FORD, K.A. et al. Neonicotinoid insecticides induce salicylate associated plant defense responses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, p. 17527-17532, 2010.

FORMAN, H. J; MAIORINO, M.; URSINI, F. Signaling functions of reactive oxygen species. **Biochemistry**, v. 49, p. 835–842, 2010.

GALON, L. et al. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Tropica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 3, p. 18 - 38, 2010.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GROHS, M. **Estudo de substâncias com efeito de regulador de crescimento no potencial fisiológico do arroz irrigado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012. 88 f.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

HAMAYUN, M. Exogenous Gibberellic Acid Reprograms Soybean to Higher Growth and Salt Stress Tolerance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 7226-7232, 2010.

HAMEED, A.; BIBI, N.; AKHTER, J.; IQBAL, N. Differential changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in flag leaves of wheat genotypes under different levels of water deficit conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, p. 178-185, 2011.

HAMPTON, J.M.; TEKRONY, D.M. **Handbook of vigour test methods**. Zürich: ISTA, 1995. 117p.

KAPPES, C. et al. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 125-134, 2010.

KHAJEH-HOSSEINI, M.; POWELL, A. A.; BINGHAM, I. J. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soybean seeds. **Seed Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 715-725, 2003.

LORETO, F., VELIKOVA, V. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. **Plant Physiology**, v. 127, p. 1781 – 1787, 2001.

LUDWIG, M. P. et al. Desempenho de sementes e plantas de milho híbrido originadas de lotes de sementes com alta e baixa qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 83-92, 2009.

MACHADO NETO, N. B. et al. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p.142-148, 2006.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.

Mc CORD, J.M., FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: an enzymic function for erythrocyte hemoglobin (hemocuprein). **Journal of Biological Chemistry**. v. 244, p. 6049-6055, 1969.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Science**, v. 7, p. 405-410, 2002.

MICHEL, B.E.; KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, v. 51, n. 6, p. 914-916, 1973.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.49-85, 1994.

O'BRIEN, R.; FOWKES, N.; BASSOM, A.P. Models for gibberellic acid transport and enzyme production and transport in the aleurone layer of barley. **Journal of Theoretical Biology**, v. 267, p. 15-21, 2010.

SIMOVA-STOILLOVA L. et al. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. **Plant Soil Environmental**, v. 54, p. 529-536, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 819p. 2009.

VERSLUES, P.E. et al. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stress that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, n. 4, p. 523-539, 2006.

VIEIRA, E.L.; CASTRO, P.R.C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, p. 222-228, 2001.

YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolism and its regulation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 225-251, 2008.

## CAPÍTULO II

### TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO E O DESEMPENHO DE PLÂNTULAS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

#### Maize seeds treatment and initial performance of seedlings under salt stress

#### Resumo

A concentração de sais no solo é um fator limitante para o crescimento e produção das culturas, por isso o uso de tecnologias que alteram a tolerância de plantas ao estresse salino desempenha um importante papel em manter o adequado estabelecimento de plantas e a consequente produção de alimentos. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a interferência de produtos com efeito de reguladores do crescimento, no tratamento de sementes, sobre a germinação e o desempenho inicial de plântulas de milho, em condições de estresse salino. Para tanto, utilizaram-se sementes de dois híbridos de milho (30F53H e CD 393), tratadas com produtos com efeito de regulador do crescimento (Stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam e testemunha) e, submetidas a diferentes níveis de potencial osmótico com NaCl (0,0; -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa). A avaliação da qualidade fisiológica das sementes foi obtida pelos testes de germinação, primeira contagem e índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e raiz, e fitomassa seca de plântulas. O tratamento de sementes com os produtos testados não promoveu melhoria na germinação de sementes de milho submetidas a condições de estresse salino, independente do genótipo. Para as demais variáveis relacionadas ao vigor de plântulas, o efeito dos produtos depende do nível de estresse e do genótipo utilizado, sendo que de maneira geral, melhores resultados foram obtidos com a utilização do Stimulate<sup>®</sup>.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Potencial osmótico. Vigor. Regulador de crescimento.

## Abstract

The salts content in soil is a limiting factor for the growth and production of crops, so the use of technologies that change plants tolerance to salt stress plays an important role in maintaining adequate plant establishment and subsequent food production. Thus, the aim of this study was to evaluate the interference effect of products growth regulators, in seed treatment, on the germination and initial performance of maize seedlings under conditions of salt stress. Therefore it was used seeds of maize hybrids (30F53H and CD 393), treated with products with effect of growth regulator (Stimulate<sup>®</sup>, thiamethoxam and control) and, subjected to different levels of osmotic potential with NaCl (0,0, -0,2, -0,4, -0,6 and -0,8 MPa). The evaluation of the physiological quality of seeds was obtained by germination, first count and the speed of germination, shoot and root seedling length and seedling dry weight. Seed treatment with the products tested did not promote improvement in germination of maize seeds subjected to salt stress, regardless of genotype. For the other variables related seedling vigor, the effect of the products depends on the level of stress and the genotype, and in general, better results were obtained with the use of Stimulate<sup>®</sup>.

**Key words:** *Zea mays* L. Osmotic potential. Vigor. Growth regulator.

## Introdução

O acúmulo de sal em solos agrícolas tem afetado severamente a produtividade em grandes áreas no mundo. Aproximadamente 20% das áreas irrigadas no mundo são afetadas por salinidade (FAO, 2013) e, com a expectativa de aumento da população mundial, a perda do solo agrícola devido à salinidade representa um sério problema para a produção de alimentos.

O estresse salino, além de prejudicar as plantas, pela diminuição da disponibilidade hídrica, causa toxidez iônica pelo acúmulo de íons nas células (como Na e Cl), desequilíbrio nutricional ou inativação fisiológica de íons essenciais (TAIZ; ZEIGER, 2009), bem como interfere no desempenho inicial e estabelecimento de plantas (BARROSO et al., 2010). A cultura do milho é moderadamente tolerante à salinidade, porém o aumento da concentração de sais na solução pode causar

decréscimos no crescimento de plântulas, área foliar e massa seca de plântulas (CONUS et al., 2009). Em soja, à medida que os níveis de salinidade são elevados, observa-se menor germinação e desenvolvimento de plântulas, sendo os genótipos convencionais mais sensíveis que os transgênicos (CARVALHO et al., 2012).

Dessa forma, o uso de tecnologias que proporcionem uma maior tolerância de plantas ao estresse salino desempenha um importante papel em manter a produção global de alimentos no futuro. Dentre as tecnologias mais promissoras para atuarem na fase inicial de desenvolvimento, em condições de estresse está à utilização de substâncias com efeito de reguladores de crescimento (VELUPPILLAI et al., 2009).

Segundo Vieira e Castro (2001), os bioestimulantes quando aplicados exogenamente possuem ações similares aos grupos de reguladores vegetais conhecidos. Estes quando aplicados em sementes ou início do desenvolvimento promovem maior crescimento radicular, o que possibilita as plantas maior resistência a estresses bióticos, biológicos e nutricionais e conseqüentemente, aumento na produção de grãos (ÁVILA et al., 2008). Outro produto que pode apresentar efeito de regulador de crescimento são os inseticidas da classe dos neonicotinóides, como o tiametoxam, que parecem estar ligados à ativação das defesas da planta em condição de estresse abiótico (FORD et al., 2010, MACEDO; CASTRO, 2011).

Alterações nas concentrações endógenas de reguladores de crescimento em condições de estresse auxiliam a planta na manutenção do turgor e no uso eficiente de água, por influenciarem no funcionamento estomatal, condutividade hidráulica e adaptação morfológica (MURTI; UPRETI, 2007). Dessa forma, esses produtos conferem às plantas maior tolerância a fatores de estresse, as quais podem se desenvolver mais vigorosamente em condições subótimas, permitindo melhores chances de atingir seu potencial genético de rendimento.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a interferência de produtos com efeito de reguladores do crescimento, no tratamento de sementes, sobre a germinação e o desempenho inicial de plântulas de milho, em condições de estresse salino.

## **Material e métodos**

O experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando uma câmara de

incubação, tipo *Biological Organism Development* (BOD), equipada com timer digital microprocessado para termoperíodo e fotoperíodo, potência de 280 W, circulação de ar forçada no sentido vertical e precisão de temperatura  $\pm 0,3$  °C

Utilizaram-se sementes de dois híbridos de milho: Pioneer 30F53H e Coodetec CD393, provenientes da safra 2011/2012. O híbrido Pioneer 30F53H foi escolhido por apresentar o gene Herculex<sup>®</sup>, que confere tolerância a lagarta do cartucho e outros três insetos além de alta produtividade com elevada estabilidade e o híbrido CD393 por ser altamente produtivo e recomendado para a Região Sul do Brasil.

Os híbridos foram submetidos a tratamento com produtos que atuam como reguladores de crescimento: tiametoxam (Cruiser 350 FS<sup>®</sup>), Stimulate<sup>®</sup> (0,009% citocinina, 0,005% giberelina e 0,005% de auxina) e testemunha, nas respectivas doses de 120 mL para 60000 sementes, 1500 mL para 100 Kg de sementes, conforme recomendações para cultura do milho, e a testemunha tratada com água, no volume de 1500 mL para 100 Kg de sementes. O tiametoxam (Cruiser 350 FS<sup>®</sup>) foi escolhido por ser um inseticida da classe dos neonicotinóides e foi incluído no trabalho pelos relatos de técnicos e pesquisadores nos últimos anos de seu efeito enraizador, principalmente em condição de estresse ambiental; Stimulate<sup>®</sup>, um bioestimulante, incluído em função da sua constituição ter diferentes hormônios (auxina, citocinina e ácido giberélico).

Para a avaliação da influência do estresse salino na qualidade fisiológica das sementes o papel germitest foi saturado com solução de cloreto de sódio (NaCl), ajustando-se para a obtenção dos níveis de potencial osmótico de 0,0; -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa. O nível zero de potencial osmótico foi utilizado como testemunha. As soluções salinas foram preparadas com água deionizada e a concentração dos sais obtidos a partir da equação de Van't Hoff, citada por Salisbury e Ross (1992).

Após os tratamentos, as sementes foram submetidas aos testes e determinações, descritos abaixo, para verificar o efeito dos mesmos no desempenho inicial de plântulas.

Germinação de sementes: foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes para cada lote, semeadas em rolos de papel, em condição de estresse salino, simulada com solução de NaCl e em condição normal, hidratando a 2,5 vezes o peso do papel seco e, mantidos em germinador regulado à 25 °C. A avaliação foi realizada aos sete dias, após início do teste, conforme as Regras para Análise de

Sementes - RAS (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem de germinação: conjuntamente com o teste de germinação foi realizada a primeira contagem da germinação, computando os dados obtidos após o quarto dia da instalação do teste.

Índice de velocidade de germinação: também realizado em conjunto com o teste de germinação, para essa determinação foram feitas contagens diárias das plântulas germinadas. O índice foi calculado utilizando-se a equação descrita por Nakagawa (1994):  $IVG = G_1/N_1 + G_2/N_2 + \dots + G_n/N_n$ , onde IVG = Índice de velocidade de germinação;  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_n$  = número de plântulas normais na primeira, segunda e enésima contagem;  $N_1$ ,  $N_2$  e  $N_n$  = número de dias.

Comprimento de parte aérea e raiz de plântulas: foram utilizadas quatro repetições de 20 sementes, semeadas no terço superior do papel germitest. O comprimento da parte aérea e das raízes foi determinado, após sete dias, em 15 plântulas normais, com auxílio de uma régua milimetrada (NAKAGAWA, 1999). Os resultados foram expressos em  $\text{cm.plântula}^{-1}$ .

Fitomassa seca de plântulas: determinada nas plântulas selecionadas para o teste de comprimento de plântulas, os quais, logo após esta determinação, foram colocados em sacos de papel e mantidos em estufa regulada a  $80^\circ\text{C}$  por 24 horas. Depois os mesmos foram retirados da estufa, resfriados, e determinou-se a fitomassa em balança analítica de precisão (0,001g) (NAKAGAWA, 1999). Os resultados foram expressos em  $\text{g.plântula}^{-1}$ .

Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (5x2x3): potenciais osmóticos x híbridos x reguladores de crescimento vegetal, com quatro repetições. A análise de variância foi efetuada pelo software Action, a comparação de médias com a testemunha sem tratamento foi realizada pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade de erro. Adicionalmente efetuaram-se os ajustes das equações de regressão das variáveis, pelo teste F, em nível de 5% de erro, com o auxílio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008).

## Resultados e discussão

Observou-se que a interação entre os fatores: híbrido, regulador de crescimento e potencial osmótico, foi significativa para todas as variáveis analisadas, exceto para massa seca, isso significa que o efeito dos produtos variou em função do potencial osmótico e do híbrido utilizado (Anexo C). Estes dados estão de acordo com Murti e Upreti (2007), que relatam que os efeitos das aplicações exógenas de reguladores de crescimento dependem do cultivar utilizado, da fase de crescimento e da gravidade do estresse.

Para a germinação, observa-se que até o potencial  $-0,4$  MPa, a porcentagem de germinação fica acima da porcentagem mínima para comercialização, que é de 85% (Figuras 1a e 1b e Tabela 1) (BRASIL, 2013). Estes resultados estão de acordo com os de Larcher (2000) que observaram que o milho é moderadamente tolerante ao estresse salino na germinação. Porém, Conus et al. (2009) não observaram efeito do estresse salino sobre a germinação de sementes de milho. Com relação aos produtos utilizados no tratamento de sementes, os mesmos não apresentaram efeito positivo sobre a germinação, independente do nível de estresse ou do genótipo utilizado.

Com a diminuição do potencial osmótico, ocorre redução na porcentagem de plântulas normais na primeira contagem de germinação (Figuras 1c e 1d) e no índice de velocidade de germinação (Figuras 1e e 1f).

Para o híbrido CD393, o tratamento de sementes com Stimulate® e o tiametoxam, nos potenciais de  $(-0,2$  e  $-0,4)$ , resultou em menor formação de plântulas normais na primeira contagem de germinação (Tabela 1). Isso pode ter ocorrido em função dos produtos utilizados no tratamento de sementes apresentarem em sua composição íons, que podem ter contribuído para diminuição ainda maior do potencial osmótico em torno da semente, o que fez com que o estresse se acentuasse ao invés de diminuir. Esses resultados contrariam os Horri et al. (2007) que relatam que o tiametoxam pode causar efeitos positivos sobre o vigor de sementes de milho e de Macedo e Castro (2011) que sugerem que a molécula de tiametoxam desempenha papel de bioativador.

Tabela 1 – Média dos híbridos CD393 e 30F53H para as variáveis: germinação (G, %), primeira contagem da germinação (PC, %) e índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA, cm) e raiz (CRA, cm), fitomassa seca de plântulas (FS, g), avaliadas em cinco potenciais osmóticos, submetidos a produtos para tratamento de sementes. Santa Maria - UFSM, 2013.

Potencial (MPa)	Produto	CD 393					
		PC	G	IVG	CPA	CRA	MS
0	Testemunha	97	99	14,77	8,99	18,78	0,545
	Stimulate®	98	100	14,3	10,05	14,06*	0,392*
	Tiametoxam	95	98	13,33*	11,3*	16,12	0,535
- 0,2	Testemunha	96	98	14,36	7,27	16,47	0,52
	Stimulate®	77*	99	14,23	7,67	13,76	0,37*
	Tiametoxam	50*	93*	13,15*	7,72	13,99	0,46
- 0,4	Testemunha	45	94	12,7	6,33	9,41	0,33
	Stimulate®	30*	87	13,69*	6,49	9,28	0,29
	Tiametoxam	15*	86	12,29	5,72*	9,26	0,317*
- 0,6	Testemunha	2	95	10,92	4,24	6,84	0,355
	Stimulate®	2	80	12,17*	4,57	6,53	0,21*
	Tiametoxam	1	86	11,45	4,28	5,78	0,297*
- 0,8	Testemunha	0	59	10,8	2,96	4,96	0,242
	Stimulate®	1	49	10,41	3,51*	4,48	0,32
	Tiametoxam	0	57	9,21*	2,36*	4,94	0,207
		30F53H					
Potencial	Produto	PC	G	IVG	CPA	CRA	MS
0	Testemunha	94	98	13,7	5,31	21,76	0,602
	Stimulate®	99*	100	15,57*	6,11	22,87	0,617
	Tiametoxam	96	100	14,63*	6,16	19,83	0,517*
- 0,2	Testemunha	66	100	13,22	4,39	16,07	0,52
	Stimulate®	91*	100	14,47*	9,34*	17,71	0,567
	Tiametoxam	44*	100	14,59*	9,01*	16,82	0,527
- 0,4	Testemunha	22	98	12,52	4,34	10,3	0,382
	Stimulate®	42*	98	14,19*	4,64	11,83*	0,402
	Tiametoxam	15	97	12,98	5,13	9,73	0,415
	Testemunha	0	74	11,29	3,05	7,01	0,325

- 0,6	Stimulate <sup>®</sup>	2	81	11,47	3,23	8,53*	0,375*
	Tiametoxam	2	80	10,73	3,7*	7,21	0,35
Testemunha		0	61	10,95	2,86	7,92	0,265
- 0,8	Stimulate <sup>®</sup>	1	67	10,76	3,57*	8,02	0,277
	Tiametoxam	0	58	9,88*	2,33*	6,55*	0,26

\*significativo em 5% de probabilidade de erro pelo teste de Dunnett.

Quando se compara cada produto com a testemunha (Tabela 1), observa-se que para o híbrido CD393 há efeito positivo para a variável índice de velocidade de germinação, nos potenciais -0,4 e -0,6, com a utilização do Stimulate<sup>®</sup>. Para as demais variáveis e níveis de estresse salino não há efeito positivo do tratamento de sementes com os produtos testados e, além disso, para algumas variáveis observa-se efeito significativo negativo, em que o tratamento de sementes associado a condições de estresse salino, prejudicou o desempenho das sementes.

Já para o híbrido 30F53H, o Stimulate<sup>®</sup>, até o potencial -0,4 MPa, promoveu maior vigor representado pela primeira contagem e velocidade de germinação, em relação à testemunha. Também observou-se efeito significativo positivo sobre o comprimento de raiz, nos potenciais -0,4 e -0,6 MPa, com a utilização desse produto (Tabela 1). Em milho, as raízes parecem suportar melhor a salinidade que a parte aérea, fenômeno que pode estar associado ao ajustamento osmótico mais rápido e a perda de turgor mais lenta das raízes, quando comparadas com a parte aérea (SHALHEVET et al., 1995). Dessa forma, a utilização de produtos que estimulem o maior crescimento do sistema radicular pode contribuir para a tolerância ao estresse salino.

O Stimulate<sup>®</sup> foi o produto que mais estimulou o vigor, representado pela primeira contagem de germinação (Figura 1d) e índice de velocidade de germinação (Figura 1f), no híbrido 30F53H. A maior velocidade de germinação e formação de plântulas normais no tratamento de sementes com Stimulate<sup>®</sup> pode ter ocorrido em função do mesmo ser composto de auxina, giberelina e citocinina. Enzimas hidrolíticas envolvidas no processo da germinação são sintetizadas mais rapidamente em resposta à presença de giberelinas, sendo transferidas para camada de aleurona da semente, onde promovem a conversão do amido em açúcar, que é utilizado no crescimento da nova plântula (TAIZ; ZEIGER, 2009; SCHWECHHEIMER, 2008).

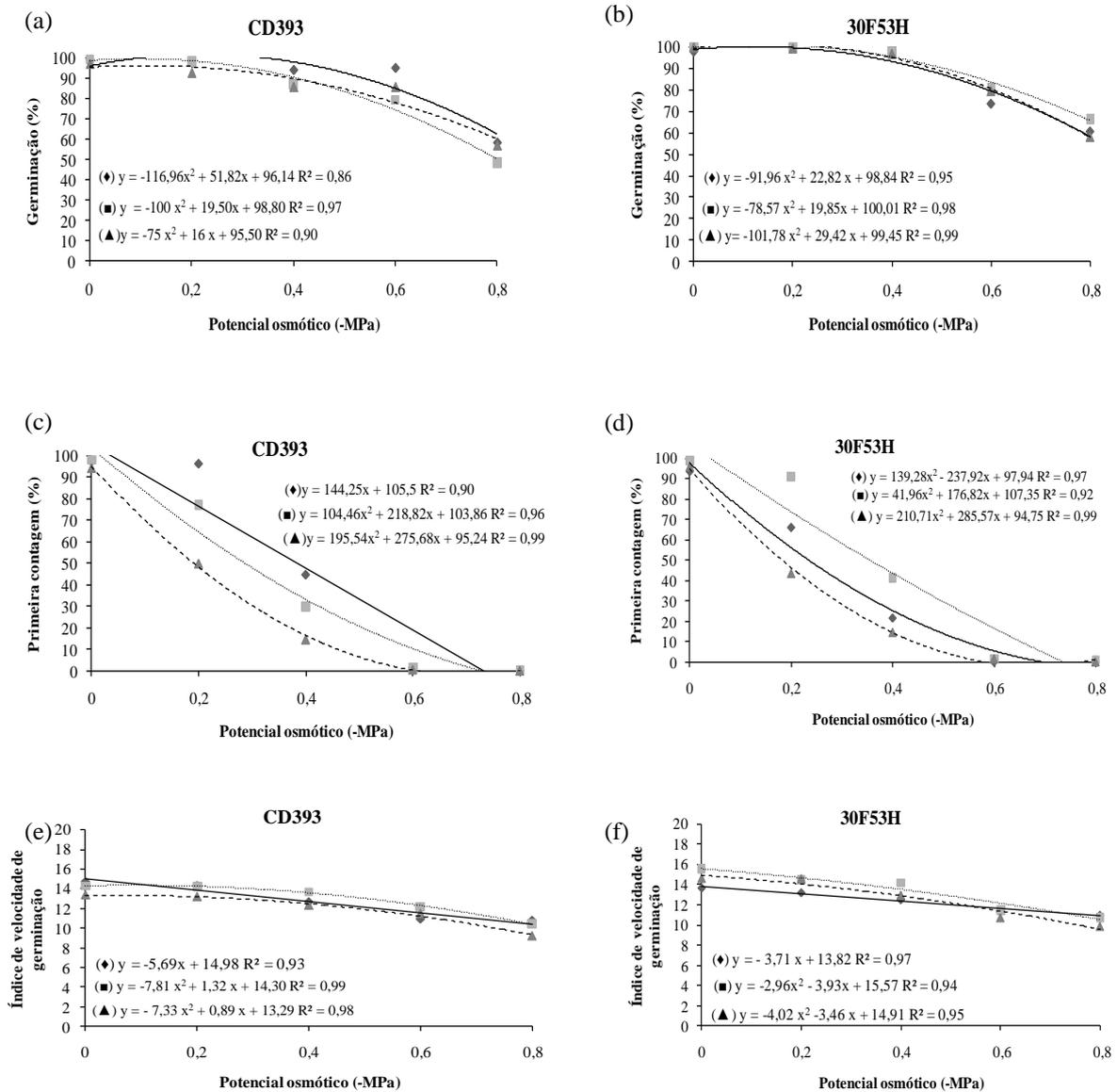


Figura 1 – Germinação dos híbridos de milho CD393 (a) e 30F53H (b), primeira contagem do CD393 (c) e do 30F53H (d), índice de velocidade de germinação do CD393 (e) e do 30F53H (f), submetidos aos tratamentos de sementes: Stimulate<sup>®</sup> (■), tiametoxam (▲) e testemunha (◆), em função dos níveis de potencial osmótico. Santa Maria – UFSM, 2013.

O comprimento de raiz das plântulas (Figuras 2c e 2d) apresentou decréscimo com a diminuição do potencial nos dois híbridos. De acordo com Munns e Tester (2008), a salinidade do solo influencia o crescimento das plantas de duas maneiras: altas concentrações de sais no solo tornam mais difícil a extração de água pelas

raízes e altas concentrações de sais na planta podem ser tóxicas. A regulação do fluxo de íons é necessária para que as células mantenham baixas as concentrações de íons tóxicos e acumulem íons essenciais. Cultivares de milho pipoca submetidos ao estresse salino por meio de solução de KCl apresentaram redução linear do comprimento da parte aérea e da raiz, assim como da massa seca de plantas (MOTERLE et al., 2006). Outros trabalhos também relatam a inibição do crescimento radicular devido ao estresse salino, em espécies cultivadas, tais como: a mamona (PINHEIRO et al., 2008), o pinhão-manso (SILVA et al., 2009), o feijão-caupi (MAIA et al., 2012) e a cebola (CORRÊA et al., 2013).

Foram observados efeitos isolados de híbrido e de potencial para a variável fitomassa seca de plântulas (Figura 2e). Observou-se diminuição linear dessa variável, na medida em que diminui o potencial, indicando que não houve maior ganho de fitomassa seca nas plântulas com os tratamentos de sementes utilizados, mas sim adequação na distribuição das reservas da semente para os tecidos (Figuras 2e). De forma semelhante, Conus et al. (2009), observaram menor massa seca de raiz de plantas de milho, como o efeito da salinidade com NaCl. O híbrido CD393 apresentou menor fitomassa seca (0,359g) quando comparado com o híbrido 30F53H (0,427g). A diferença entre cultivares quanto à sensibilidade ao estresse salino pode estar relacionado a fatores genéticos e a qualidade de sementes e também foi observada para outras culturas, como para soja (Carvalho et al., 2012), feijão-caupi (Maia et al., 2012) e cebola (Corrêa et al., 2013).

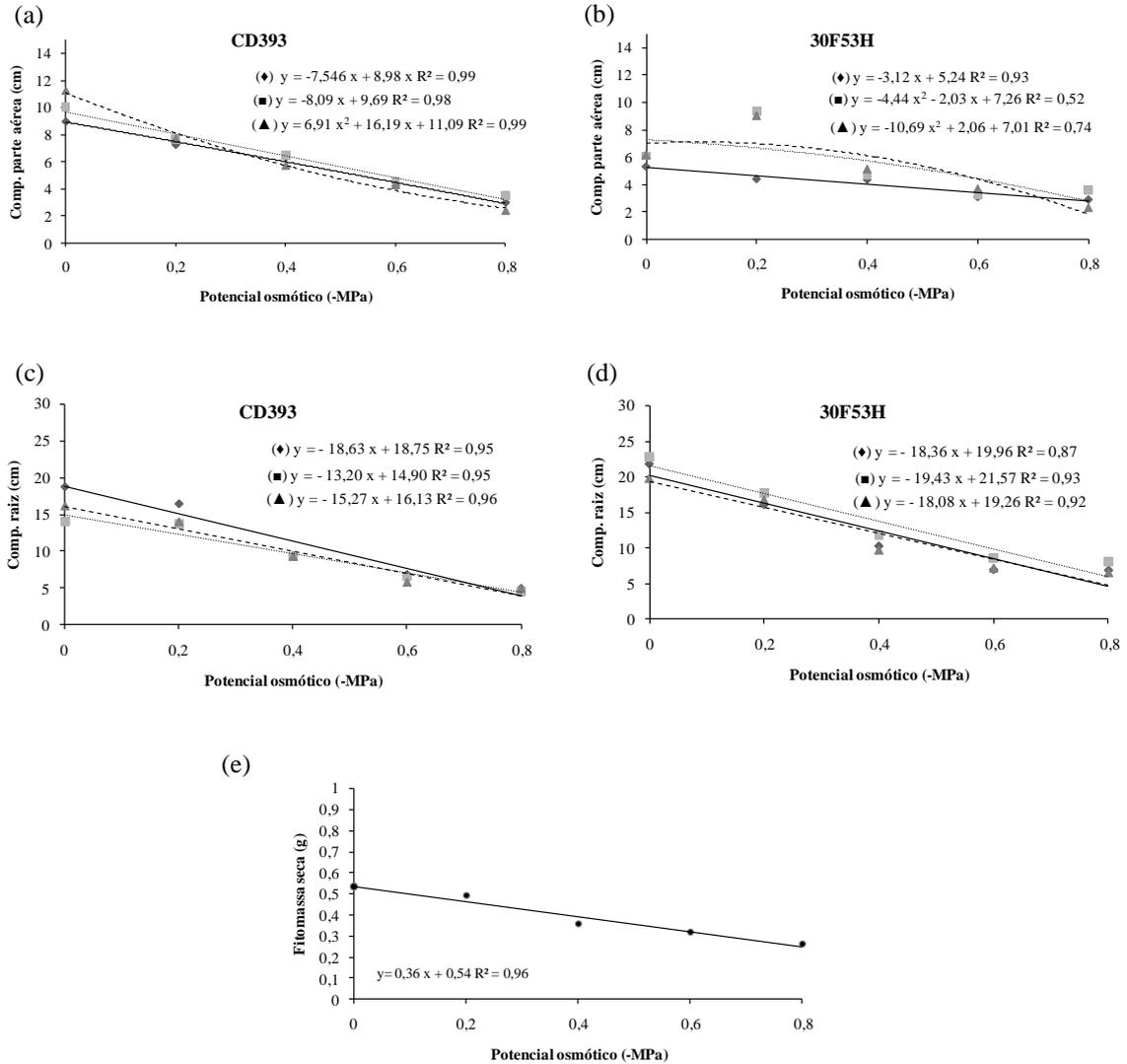


Figura 2 – Comprimento da parte aérea de plântulas de milho dos híbridos CD393 (a) e 30F53H (b) e comprimento de raiz do CD393 (c) e do 30F53H (d), e fitomassa seca de plântulas (e), submetidas aos tratamentos de sementes: Stimulate® (■), tiametoxam (▲) e testemunha (◆), em função dos níveis de potencial osmótico. Santa Maria – UFSM, 2013.

## Conclusões

O tratamento de sementes com os produtos com feito de regulador do crescimento não promove melhoria na germinação de sementes de milho submetidas às condições de estresse salino, independente do genótipo.

Para as demais variáveis relacionadas ao vigor de sementes, o efeito dos produtos depende do nível de estresse e do genótipo utilizado, sendo que, de maneira geral, melhores resultados são obtidos com a utilização do Stimulate®.

### Referências

ÀVILA, M. R. et al. Bioregulator application, agronomic efficiency, and quality of soybean seeds. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 65, n. 6, p. 604-612, 2008.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 159-164, 2000.

BARROSO, C. M.; FRANKE, L. B.; BARROSO, I. B. Substrato e luz na germinação das sementes de rainha-do-abismo. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 28, p.236-240, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, MAPA/ACS, 2009. 395 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº45, de 17 de setembro de 2013. Anexo XXI - **Padrões para produção e comercialização de sementes de milho**. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/59241044/dou-secao-1-18-09-2013-pg-30>. Acesso em: 15 de novembro de 2013.

CARVALHO, T. C.; SILVA, S. S.; SILVA, R. C.; PANOBIANCO, M. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p.1366-1371, 2012.

CONUS, L.A. et al. Germinação de sementes e vigor de plântulas de milho submetidas ao estresse salino induzido por diferentes sais. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 67-74, 2009.

CORRÊA, N. S. et al. Salt stress: antioxidant activity as a physiological adaptation of onion cultivars. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 394-399. 2013.

FAO (2013). Aquastat. Disponível em: [www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html). Acesso em: 15 de agosto de 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FORD, K.A. et al. Neonicotinoid insecticides induce salicylate-associated plant defense responses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 107, p. 17527-17532, 2010.

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A.J.; NIX, H.A. Salinisation of land and water resources. **Human causes, extent management & case studies**. University of New South Wales, Sydney, Australia, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 529 p.

MACEDO, W.R.; CASTRO, P.R. de C. Thiamethoxam: molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 100, p. 299-304, 2011.

MAIA, J. M. et al. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão-caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 26, p. 342-349. 2012.

MOTERLE, L.M.; LOPES, P.C.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 169-176, 2006.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, California, v. 59, p. 651-681. 2008.

MURTI, G. S. R.; UPRETI, K. K. Plant growth regulators in water stress tolerance. **Journal Horticultural Science**, Bangalore, v. 2, n. 2, p.73-93, 2007.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. (Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.

PINHEIRO, H.A. et al. Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 385-392. 2008.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4. ed. Belmont: Wadsworth, 1992. 682p.

SCHWECHHEIMER, C. Understanding gibberellic acid signaling—are we there yet? **Current Opinion in Plant Biology**, Bethesda, v. 11, v. 1, p. 9-15, 2008.

SHALHEVET, J.; HUCK, M.G.; SCHROEDER, B.P. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 3, p. 512-516, 1995.

SILVA, E.N. et al. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansão sob diferentes níveis de salinidade. **Revista de Ciência Agronômica**, Ceará, v. 40, p. 240-246, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

VELUPPILLAI, S. et al. Biochemical Changes Associated with Germinating Rice Grains and Germination Improvement. **Rice Science**, China, v. 16, n. 3, p. 240–242, 2009.

VERSLUES, P. E. et al. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stress that affect plant water status. **The Plant Journal**, v.45, n.4, p.523-539, 2006.

VIEIRA, E.L.; CASTRO, P.R.C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 222-228, 2001.

## CAPÍTULO III

### TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E AGRONÔMICAS

#### Maize seeds treatment: agronomic and physiological responses

#### Resumo

O tratamento de sementes é uma prática agrícola que visa garantir proteção, rapidez e uniformidade no estabelecimento de plantas em campo. Neste contexto, objetivou-se avaliar o potencial fisiológico de sementes, o desempenho agronômico e a produtividade da cultura de milho, tratadas com produtos que possuem efeito de reguladores do crescimento vegetal. O experimento foi conduzido em laboratório e em campo, com os híbridos 30F53H e CD 393, e com os produtos: ácido giberélico, stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam e testemunha. Avaliou-se em ambiente controlado a qualidade das sementes através dos testes de: germinação, primeira contagem e índice de velocidade de germinação, teste de frio, comprimento e fitomassa seca de plântulas. Em campo, durante as safras 2011/12 e 2012/13, foram avaliados: emergência e estande de plantas, número de folhas, altura, diâmetro de colmo, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de cem grãos e produtividade final. Em ambiente controlado, o ácido giberélico e o stimulate<sup>®</sup> promovem aumento na velocidade de germinação. Apesar dos produtos utilizados estimularem a emergência e o estande de plantas, não há influência na produtividade de grãos.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Vigor. Produtividade. Regulador de crescimento. Tiametoxam.

## Abstract

Seed treatment is an agricultural practice that aims to ensure protection, rapidity and uniformity in the establishment of plants on the field. In this context, the objective of this work was evaluate the physiological quality, agronomic performance and yield of maize treated with products that have the effect of plant growth regulators. The experiment was conducted in the laboratory and in the field with the hybrid Pioneer 30F53H and Coodetec 393, and products: gibberellic acid, Stimulate<sup>®</sup> and thiamethoxam. The seed quality was evaluated in a controlled environment through testing: germination, first count and the speed of germination, cold test, length and dry weight of seedlings. In field, during seasons 2011/12 and 2012/13, emergence and plant stand, number of leaves, height, stem diameter, number of rows per ear, number of seeds per row, weight of hundred grains and final yield were evaluated. In a controlled environment, gibberellic acid and Stimulate<sup>®</sup> promote increased germination rate. Although the products used to stimulate the emergence and plant stand there was no influence on grain yield.

**Key words:** *Zea mays* L.. Vigor. Yield. Growth regulator. Thiamethoxam.

## Introdução

O cultivo de milho no Brasil está em constante evolução, sendo que o desenvolvimento de genótipos superiores e mais produtivos é um dos principais fatores que contribuem para incrementos em rendimentos. Nesse sentido, a utilização de sementes de elevada qualidade é essencial para garantir o sucesso da cultura, já que essas atuam como veículos de transferência de tecnologia e possuem maior probabilidade de atingir bom desempenho quando expostas a diferentes condições ambientais (AVELLAR et al., 2012).

O tratamento de sementes é uma alternativa para aumentar o desempenho das sementes e plântulas, pois protege a cultura durante as fases iniciais do ciclo (PEREIRA et al., 2008), garantindo maior uniformidade de emergência e adequado estabelecimento inicial. Na cultura de milho, esse fator torna-se ainda mais importante, já que a espécie se caracteriza por produzir uma espiga por planta e ter baixa capacidade de compensação da população de plantas (LUDWIG et al., 2009).

Estes benefícios podem ser obtidos com a aplicação de vários produtos às sementes, tais como: fungicidas, inseticidas, micronutrientes e reguladores de crescimento ou biorreguladores vegetais.

Recentemente, algumas moléculas têm resultado em efeitos fisiológicos nas plantas, capazes de modificar seu metabolismo e morfologia, de modo a influenciar o seu desenvolvimento e rendimento (MACEDO, 2012), sendo que substâncias que apresentam essa atividade são classificadas como reguladoras do crescimento vegetal.

Os produtos que atuam como reguladores do crescimento vegetal são substâncias naturais ou sintéticas que podem ser aplicadas diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com finalidade de incrementar a produção e melhorar a qualidade de sementes (CASTRO; MELOTTO, 1989). Estes produtos, dependendo de seu modo de ação, podem estimular a germinação das sementes através do estímulo ao metabolismo de enzimas hidrolíticas, como as giberelinas (MCDONALD; KHAN, 1983; O'BRIEN et al., 2010); controlando etapas da divisão celular, como as auxinas e citocininas (TAIZ; ZEIGER, 2009); induzindo processos de auto-defesa da planta, como relatado para inseticidas da classe dos neonicotinóides, como o tiametoxam (CASTRO; PEREIRA, 2008; FORD et al., 2010).

Neste sentido, a utilização do tratamento de sementes com produtos que apresentam efeito de reguladores do crescimento tem sido vista como uma alternativa promissora para incrementar a produtividade da cultura de milho.

O objetivo do trabalho foi avaliar o potencial fisiológico de sementes, o desempenho agrônomo e a produtividade da cultura de milho, mediante tratamento de sementes com diferentes produtos que possuem efeito de reguladores do crescimento vegetal.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes e na área experimental do Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria, região climática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, com altitude de 116m, latitude 29°42'24"S e longitude 53°48'42"W. O clima da região, segundo a classificação de KÖEPPEN (MORENO, 1961) é do tipo

Cfa. O solo é classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (EMBRAPA, 2006).

Utilizaram-se sementes de dois híbridos de milho: 30F53H e CD393. O híbrido 30F53H apresenta alta produtividade com elevada estabilidade e, é utilizado como testemunha em empresas de melhoramento, além de possuir a tecnologia Herculex, que confere tolerância a lagarta do cartucho e outros três insetos; e, o híbrido CD393 é altamente produtivo e recomendado para a Região Sul.

As sementes dos híbridos foram submetidas aos tratamentos com produtos que atuam como reguladores de crescimento vegetal: ácido giberélico (Pró-gibb), Stimulate<sup>®</sup> (0,009% citocinina, 0,005% giberelina e 0,005% de auxina), tiametoxam (Cruiser 350 FS<sup>®</sup>) e testemunha, nas respectivas doses de 50g para 100Kg de sementes, 1500mL para 100Kg de sementes e 120mL para 60000 sementes, conforme recomendações para cultura de milho, e a testemunha tratada com água, na quantidade de 150mL para 60000 sementes. O ácido giberélico é considerado o hormônio da germinação; tiametoxam é um inseticida da classe dos neonicotinóides, com relatos de técnicos e pesquisadores, com efeito enraizador, principalmente em condição de estresse ambiental; Stimulate<sup>®</sup>, constituído de diferentes hormônios (auxina, citocinina e ácido giberélico).

O tratamento das sementes foi realizado em sacos plásticos, com capacidade para três litros, utilizando 500g de sementes por saco. A quantidade de produto adicionada foi baseada no peso de mil sementes para cada híbrido, e as sementes foram agitadas até a completa distribuição dos produtos na superfície das sementes.

Posteriormente ao tratamento, as sementes foram submetidas a testes e determinações, no delineamento inteiramente casualizado, conforme descritos abaixo, para verificar o efeito dos produtos na germinação e no desempenho inicial de plântulas.

Germinação de sementes: utilizaram-se quatro repetições de 100 sementes para cada lote, semeadas em rolos de papel umedecidos com água destilada a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidos em germinador regulado à 25°C, sem fotoperíodo. As avaliações foram realizadas aos sete dias, após início do teste, conforme as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem de germinação: conjuntamente com o teste de germinação foi realizada a primeira contagem da germinação, computando os dados obtidos após o quarto dia da instalação do teste.

Índice de velocidade de germinação: para essa determinação foram feitas contagens diárias das sementes que apresentavam um centímetro de radícula, a partir do teste de germinação. O índice foi calculado utilizando-se a equação descrita por Maguire (1962):  $IVG = G_1/N_1 + G_2/N_2 + \dots + G_n/N_n$ , onde IVG = Índice de velocidade de germinação;  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_n$  = número de plântulas normais na primeira, segunda e enésima contagem;  $N_1$ ,  $N_2$  e  $N_n$  = número de dias da semente à primeira, segunda e enésima contagem.

Teste de frio: quatro repetições de 100 sementes foram distribuídas em rolo de papel toalha previamente umedecido com água destilada na razão de 2,5 vezes a massa do papel seco e submetido à temperatura constante de 10°C, por um período de sete dias, conforme metodologia proposta pelo Comitê de Vigor da International Seed Testing Association (ISTA, 1995). Após este período, os rolos foram transferidos para um germinador à temperatura de 25°C, sem fotoperíodo, durante cinco dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Comprimento de plântulas: realizado com quatro repetições de 20 sementes, semeadas sobre papel *germitest*, em duas linhas paralelas, sendo mensurado o comprimento da parte aérea, da raiz e total de quinze plântulas normais, escolhidas aleatoriamente, após sete dias, com auxílio de uma régua milimetrada (NAKAGAWA, 1994). Os resultados foram expressos em  $\text{cm.plântula}^{-1}$ .

Fitomassa seca de plântulas: determinada nas raízes e epicótilos selecionados para o teste de comprimento de plântulas, os quais, logo após esta determinação, foram colocados em sacos de papel e mantidos em estufa regulada à 80°C por 24 horas. Após serem retirados da estufa e resfriados, determinou-se a fitomassa em balança analítica de precisão (0,001 g) (NAKAGAWA, 1994). Os resultados foram apresentados em  $\text{g.plântulas}^{-1}$ .

O experimento em campo foi conduzido nas safras 2011/12 e 2012/13, no delineamento blocos casualizados. Na primeira safra, a sementeira ocorreu no dia 24 de novembro de 2011 e, na segunda, no dia 04 de dezembro de 2012, utilizando-se na adubação de base,  $400\text{kg ha}^{-1}$  da fórmula 5-20-20. A sementeira foi realizada manualmente na densidade de 10 sementes por metro linear e, 14 dias após a

semeadura, procedeu-se o desbaste das plantas de milho, mantendo-se cinco plantas por metro linear.

As parcelas experimentais foram constituídas por duas fileiras de plantas com cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,8m, apresentando uma área útil de 8,0m<sup>2</sup>.

A adubação de cobertura foi aos 40 e 53 dias após a semeadura (quatro e seis folhas, respectivamente), na dose de 85 e 170Kg ha<sup>-1</sup> de uréia (46% de N), respectivamente. Irrigaram-se os experimentos periodicamente por meio de sistema de aspersão tradicional, conforme as necessidades da cultura. As plantas daninhas foram controladas por meio da aplicação em pré-emergência com o herbicida Tembotriona (Soberan<sup>®</sup>) na dose de 240mL ha<sup>-1</sup> do produto comercial. Também foram realizadas pulverizações com inseticida deltametrina (Decis 25 CE<sup>®</sup>) na dose de 200mL ha<sup>-1</sup> do produto comercial e com inseticida tiodicarbe (Larvin 800 WG<sup>®</sup>) na dose de 150g ha<sup>-1</sup> do produto comercial, quando necessário.

Nestas condições, foram avaliados: Emergência de plântulas: através da contagem de todas as plântulas das parcelas, que emergiram do solo, aos sete dias após a semeadura; Estande de plantas: avaliado a partir de amostras de um metro da linha de semeadura, escolhidos aleatoriamente, e os resultados foram expressos em número de plantas por metro linear; Número de folhas: foram consideradas na contagem, as folhas emitidas completamente expandidas (com colar visível), no início do pendoamento. Diâmetro do colmo (cm): o valor foi obtido medindo-se o diâmetro do terceiro nó do colmo contado a partir do colo da planta, com auxílio de paquímetro manual; Altura das plantas (cm): altura correspondente à distância entre o colo da planta e a extremidade da haste principal, medido no início do pendoamento, com régua graduada; Componentes do rendimento: foi determinado o número de espigas por m<sup>2</sup>, número de grãos por espiga e a massa de mil grãos; e, Produção de grãos: estimada através da colheita, a qual foi realizada manualmente em 8m<sup>2</sup> (5,0m x 1,6m) de cada parcela, quando os grãos apresentarem em média 18% de umidade. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha<sup>-1</sup>.

Para realização da análise estatística de todos os testes e determinações da qualidade de sementes, os dados foram testados quanto ao atendimento aos pressupostos do modelo matemático, utilizando o aplicativo Action. Para as variáveis significativas pelo teste F (Anova), as médias foram comparadas pelo teste Scott-

Knott, em 5% de probabilidade de erro. O aplicativo utilizado para a análise dos dados foi o software Sisvar<sup>®</sup> (FERREIRA, 2008). Para as variáveis em porcentagem, os dados foram transformados por  $\text{arc seno}\sqrt{x/100}$  e, para as variáveis que não atenderam aos pressupostos: estande de plantas por metro, número de folhas e número de espigas por metro, a transformação utilizada foi de acordo com a metodologia Box-Cox (BOX; COX, 1964), através do aplicativo Action, sendo aplicados os valores de lambda de 0,68, 0,47 e 2,5, respectivamente para as variáveis. As apresentações dos resultados para variáveis transformadas foram realizadas com os valores originais.

## **Resultados e discussão**

Observou-se efeito significativo de híbrido para todas as variáveis analisadas, exceto para germinação e comprimento de raiz, demonstrando a diferença existente entre os híbridos de milho. Com relação ao efeito dos produtos, os mesmos foram significativos para a maioria das variáveis, com exceção da germinação, emergência em campo, comprimento de raiz e total de plântulas, demonstrando que os produtos testados proporcionam efeitos diferentes no desempenho inicial de plântulas (Anexos D e E).

Ao estudar o efeito da interação entre híbridos de milho e produtos, observou-se significância para as variáveis: teste de frio, índice de velocidade de germinação, comprimento de parte aérea e fitomassa seca de plântulas (Anexos D e E). Isso indica que para essas variáveis, a resposta ao tratamento de sementes com produtos com efeito de regulador do crescimento dependeu do híbrido utilizado.

Pelos resultados do teste de germinação (Tabela 1), observa-se que não houve diferença significativa entre os produtos estudados, porém todos apresentaram percentual de germinação acima do mínimo exigido para comercialização de sementes de milho (85%), conforme estabelecido pela Instrução Normativa n° 45, de 17 de Setembro de 2013 (BRASIL, 2013). Por ser o teste de germinação realizado em condições ideais de temperatura, luz e umidade, e, devido a alta qualidade fisiológica inicial das sementes, esses fatores dificultam a detecção de diferenças de desempenho, em relação à germinação, com os produtos utilizados.

A aplicação de giberelinas estimula a produção de enzimas hidrolíticas, como a alfa-amilase, pelas células da camada de aleurona das sementes de cereais. Essas enzimas atuam no desdobramento de substâncias de reserva e aceleram o processo de crescimento do embrião (ARAGÃO et al., 2003; SCHWECHHEIMER, 2008). No entanto, o tratamento de sementes com giberelinas não recupera o desenvolvimento normal da semente, mas pode aumentar a velocidade do processo de germinação, como pode ser observado nos testes de primeira contagem de germinação (Tabela 1). Da mesma forma, esse comportamento pode ser observado para o Stimulate<sup>®</sup>, que para os dois híbridos, observou-se aumento da velocidade do processo de germinação, através dos testes de primeira contagem e índice de velocidade de germinação. Isso pode ser explicado, devido ao fato do Stimulate<sup>®</sup> apresentar na sua composição giberelinas, além de citocinina e auxina, que atuam principalmente no processo de divisão celular e quando interagem, em quantidades adequadas, promovem o maior crescimento das plântulas (NISHIMURA et al., 2004).

Para o tiametoxam, também não se observou efeito positivo sobre a germinação. Inseticidas da classe dos neonicotinóides, como o tiametoxam, podem induzir as defesas da planta através do estímulo à produção de ácido salicílico, o qual é um fito-hormônio conhecido pelo seu papel na defesa da planta contra patógenos e como indutor de resistência sistêmica adquirida, também podendo modular a resposta a estresses abióticos, como temperatura e influenciar o sistema antioxidante das plantas (HORRI et al., 2007; FORD et al., 2010). No entanto, supõe-se que, em condições adequadas de luz, temperatura e nutrientes, o tiametoxam apresente comportamento estável, sem nenhuma interferência sobre a germinação (MACEDO; CASTRO, 2011). Resultado similar foi encontrado por Wilde et al. (2007), que não observaram melhorias na germinação de sementes de milho com o uso do tiametoxam.

No teste de frio, não se observou diferença estatística em relação aos produtos utilizados (Tabela 1), apenas no híbrido CD393, as sementes tratadas com tiametoxam apresentaram menor vigor, em relação às demais. Esse comportamento não era esperado, pois em condições diferentes das ideais, espera-se uma resposta positiva na presença de produtos com efeito de regulador do crescimento. Porém, em razão da alta qualidade das sementes utilizadas, as testemunhas apresentaram alto vigor, não diferenciando dos demais produtos. Sementes que apresentam alta

qualidade fisiológica apresentam melhores condições de tolerância às condições de estresse que sementes de baixo vigor (MARCOS FILHO, 2005).

Tabela 1 – Médias da porcentagem de germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (TF) e índice de velocidade de germinação (IVG), em resposta a diferentes produtos com função de reguladores do crescimento vegetal em dois híbridos de milho. Santa Maria, UFSM, 2013.

Produto	30F53H	CD 393	Média
-----Germinação (%)-----			
Testemunha	99 a	99 a	99 a
AG <sub>3</sub>	99 a	97 a	98 a
Stimulate®	98 a	98 a	98 a
Tiametoxam	100 a	99 a	100 a
Média	99 A	98 A	
--Primeira Contagem (%)--			
Testemunha	76 b	79 b	78 b
AG <sub>3</sub>	92 a	91 a	92 a
Stimulate®	85 a	94 a	90 a
Tiametoxam	75 b	87 b	81 b
Média	82 A	88 A	
-----Teste de Frio (%)-----			
Testemunha	100 a	99 a	100 a
AG <sub>3</sub>	97 a	98 a	98 a
Stimulate®	98 a	98 a	98 a
Tiametoxam	100 a	83 b	92 b
Média	99 A	95 B	
-----IVG-----			
Testemunha	35,58 b	38,25 c	36,91 c
AG <sub>3</sub>	36,58 b	38,75 c	37,66 c
Stimulate®	39,66 a	47,91 a	43,78 a
Tiametoxam	35,67 b	44,16 b	39,91 b
Média	36,87 B	42,26 A	

\*Médias não seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna e dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, (p<0,05).

Quanto ao comprimento de parte aérea (Tabela 2), no híbrido 30F53H, os produtos não diferenciaram significativamente entre si e no híbrido CD 393, os tratamentos de sementes com ácido giberélico e Stimulate® foram superiores à testemunha e ao tratamento de sementes com tiametoxam. O resultado positivo do AG<sub>3</sub> provavelmente se deve a atuação do hormônio, em estimular a alongação da parte aérea por aumentar a plasticidade da parede celular da célula seguida pela hidrólise do açúcar, reduzindo o potencial hídrico na célula, resultando na entrada de

água e na alongação da plântula, principalmente na região do mesocótilo (YAMAGUSHI, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Tabela 2 – Médias do comprimento de parte aérea (CPA), raiz (CRA) e total (CTO) e fitomassa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSRA) e total (MSTO) de plântulas em resposta a diferentes produtos com função de reguladores do crescimento vegetal, em dois híbridos de milho. Santa Maria, UFSM, 2013.

Produto	30F53H	CD 393	Média
---CPA (cm)---			
Testemunha	5,29 a	10,30 b	7,79 b
AG <sub>3</sub>	5,66 a	11,66 a	8,66 a
Stimulate®	4,96 a	11,50 a	8,23 b
Tiametoxam	5,33 a	10,64 b	7,99 b
Média	5,31 B	11,02 A	
---CRA (cm)---			
Testemunha	22,29 b	22,32 a	22,30 a
AG <sub>3</sub>	22,39 b	19,87 a	21,13 b
Stimulate®	24,45 a	21,23 a	22,84 a
Tiametoxam	21,05 b	20,40 a	20,72 b
Média	22,54 A	20,95 B	
--- CTO (cm)---			
Testemunha	27,59 a	32,62 a	30,10 a
AG <sub>3</sub>	28,05 a	31,54 a	29,79 a
Stimulate®	29,42 a	32,72 a	31,07 a
Tiametoxam	23,88 a	31,05 a	27,46 a
Média	27,23 B	31,98 A	
----MSPA (g)----			
Testemunha	0,250 a	0,422 b	0,336 a
AG <sub>3</sub>	0,180 b	0,402 b	0,291 b
Stimulate®	0,227 a	0,465 a	0,346 a
Tiametoxam	0,245 a	0,472 a	0,358 a
Média	0,225 B	0,440 A	
----MSRA (g)----			
Testemunha	0,732 a	0,377 b	0,555 a
AG <sub>3</sub>	0,657 b	0,347 b	0,502 b
Stimulate®	0,760 a	0,465 a	0,612 a
Tiametoxam	0,605 b	0,360 b	0,482 b
Média	0,688 A	0,387 B	
----MSTO (g)----			
Testemunha	0,982 a	0,797 b	0,890 a
AG <sub>3</sub>	0,835 b	0,752 b	0,793 b
Stimulate®	0,985 a	0,930 a	0,957 a
Tiametoxam	0,850 b	0,837 b	0,843 b
Média	0,913 A	0,829 B	

\*Médias não seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna e dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Para a variável comprimento de raiz, observou-se no híbrido 30F53H, que o Stimulate<sup>®</sup> resultou em maior crescimento radicular comparado aos demais. Além disso, o tratamento de sementes com Stimulate<sup>®</sup> mostrou-se superior em relação à massa seca de raiz nos dois híbridos analisados. Essas características podem ser importantes quando a plântula está em condição de estresse hídrico, em que, o maior volume radicular pode ajudar a planta a explorar maior volume de solo, absorvendo mais eficientemente água e nutrientes (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Já no tratamento de sementes com ácido giberélico e tiametoxam, não se observou efeito positivo sobre o sistema radicular, concordando com os resultados encontrados por Castro et al. (2008) e Dan et al. (2010), na cultura de soja, em que não foram observados aumento no comprimento das raízes quando submetidas ao tiametoxam; e, com os de Wahyuni et al. (2003), na cultura do arroz, que observaram que o AG<sub>3</sub> não apresenta efeito sobre o sistema radicular em função de promover um excessivo crescimento da parte aérea. Com isso, a plântula desloca seus metabólitos para a nutrição da parte aérea, em detrimento ao desenvolvimento da raiz.

O bom desempenho do Stimulate<sup>®</sup> na fitomassa seca de parte aérea e raiz pode ser explicado pelo produto ser composto por auxina, citocininas e giberelina, assim incrementando o crescimento e o desenvolvimento vegetal, estimulando a divisão celular, a diferenciação e o alongamento das células. As auxinas estão relacionadas ao crescimento das plantas, nos mecanismos de expansão celular (WOODWARD; BARTEL, 2005; TEALE et al., 2006). As citocininas estão ligadas principalmente a divisão celular, porém afetam muitos outros processos, tais como: o desenvolvimento vascular, a mobilização de nutrientes e a dominância apical (TAIZ; ZEIGER, 2009). As giberelinas além, de participarem ativamente no processo de germinação, promovem o alongamento e crescimento do caule, divisão celular e, conseqüentemente, a expansão foliar. Assim, com o uso de diferentes combinações desses hormônios ocorrem os efeitos fisiológicos como o crescimento, desenvolvimento e formação de órgãos.

Em campo, os resultados foram influenciados pelo híbrido utilizado, bem como pelas condições ambientais. Para o fator safra, houve efeito significativo para a maioria das variáveis, exceto número de grãos por espiga, diâmetro de colmo e altura de plantas (Anexo F). Isso pode estar relacionado às condições climáticas

desfavoráveis, na safra 2011/12, em relação à safra 2012/13 (Anexo G). O fator híbrido apresentou diferença estatística significativa para a maioria das variáveis analisadas, o que significa que os híbridos apresentam comportamento distinto. O fator produto regulador de crescimento apresentou efeito significativo para as variáveis: estande de plantas, emergência, massa de 100 sementes e produtividade, embora não se tenha observado diferenças pelo teste de comparação de médias (Anexo F).

Também houve interação tripla significativa para as variáveis massa de 100 sementes, número de grãos por espiga, portanto o efeito dos reguladores de crescimento variou em função dos híbridos e da safra (Anexo F).

Apesar das condições climáticas adversas (altas temperaturas e baixa pluviosidade) (Anexo G), na safra 2011/12, a produtividade média foi maior do que a ocorrida na safra 2012/13 (Tabela 3). Porém, é necessário considerar que irrigações foram realizadas a partir da emergência, quando necessário, e assim, não ocorreram perdas por déficit hídrico. Na safra 2012/13, a pluviosidade foi adequada, porém devido às altas temperaturas (elevada soma térmica acumulada diariamente), as plantas atingiram alturas maiores de forma mais rápida, atingindo os graus-dia necessários para atingir a fase de floração anteriormente, o que influenciou na produção final. Além disso pode ter ocorrido estresse devido às altas temperaturas, o que afetou negativamente a taxa fotossintética e implicou em menor rendimento final.

Outro fator que ajuda a explicar as diferenças ocorridas entre as duas safras é o estande de plantas por metro, que na safra 2011/12 foi maior do que na safra 2012/13 (Tabela 3). Diferentemente de outras poáceas, o milho não apresenta um mecanismo eficiente de compensação de espaços, pois perfilha pouco e apresenta baixa prolificidade e limitada capacidade de expansão foliar (STRIEDER et al., 2007). Dessa forma, estandes reduzidos diminuem a produtividade.

O híbrido 30F53H apresentou maior produção em relação ao CD393, possivelmente pela menor emergência e estande de plantas no híbrido CD393, em relação ao 30F53H (Tabela 3). De acordo com Marcos Filho (2005), a emergência reduzida e desuniforme pode conduzir a atrasos no desenvolvimento e estádios fenológicos, os quais podem afetar diretamente a produção final. Também, Mondo et al. (2012) relatam que a distribuição homogênea é essencial para obtenção de altas produtividades em milho.

Com relação ao efeito dos reguladores de crescimento na produtividade, não se observou diferença significativa entre os mesmos e também em relação à testemunha (Tabela 4). O tratamento de sementes tem por finalidade garantir o desempenho das sementes em campo. Dessa forma, pode-se observar que os diferentes produtos testados apresentaram maior emergência e estande de plantas em relação à testemunha (Tabela 3). No entanto o maior vigor e estande proporcionado pelos reguladores não resultaram em maior produtividade.

Também, em relação a maior emergência e estande de plantas, com os produtos com papel de regulador de crescimento, pode ter ocorrido o efeito sistêmico protetor/biorregulador da aplicação do tratamento de sementes, em que os inseticidas e reguladores do crescimento que são aplicados nas sementes, lixiviam das sementes para o solo, e após são absorvidos lentamente pelas raízes e, posteriormente translocados, via xilema, protegendo contra patógenos nos estágios iniciais e/ou realizando papel biorregulador, ativando enzimas (SILVA et al., 1998).

Tabela 3 – Médias de emergência em campo (EM, %), estande de plantas por metro (EST), altura de plantas (ALT, cm), número de folhas (NF) e diâmetro de colmo (DC, cm), de duas safras agrícolas 2011/12 e 2012/13, de híbridos de milho, 30F53H e CD393 e de tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2013.

Tratamento	EM	EST	ALT	NF	DC
Safra 2011/12	53 b	5,29 a	248,06 b	14,78 a	2,27 a
Safra 2012/13	62 a	4,47 b	265,08 a	14,06 b	2,25 a
30F53H	61 a	5,50 a	256,22 a	14,54 a	2,27 a
CD393	54 b	4,26 b	256,92 a	14,30 a	2,24 a
Testemunha	45 b	4,10 b	256,37 a	14,46 a	2,26 a
AG <sub>3</sub>	64 a	5,26 a	252,95 a	14,39 a	2,26 a
Stimulate®	61 a	5,13 a	259,17 a	14,38 a	2,27 a
Tiametoxam	60 a	5,02 a	257,78 a	14,46 a	2,24 a
CV	19,07	18,83	5,83	4,07	7,47
Média	57,54	4,88	256,57	14,42	2,26

\* médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, ( $p < 0,05$ ).

Tabela 4 – Médias do número de espigas por metro (NESP.m<sup>-1</sup>), número de grãos por espiga (NG.esp<sup>2(-1)</sup>), massa de 100 grãos (MCG, g) e produtividade (Kg.ha<sup>-1</sup>), de duas safras agrícolas 2011/12 e 2012/13, de híbridos de milho, 30F53H e CD393 e de tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2012.

Tratamento	NESP.m <sup>2(-1)</sup>	NG.esp <sup>-1</sup>	MCG	Produtividade
Safra 2011/12	5,33 b	509,47 a	34,96 b	10450,39 a
Safra 2012/13	5,86 a	527,85 a	35,84 a	7534,16 b
30F53H	5,72 a	521,18 a	34,34 b	9507,82 a
CD393	5,47 b	516,15 a	36,47 a	8476,73 b
Testemunha	5,35 a	518,33 a	34,44 b	8310,75 a
AG <sub>3</sub>	5,35 a	512,15 a	35,72 a	9154,31 a
Stimulate®	5,89 a	505,55 a	35,98 a	8530,28 a
Tiametoxam	5,78 a	538,62 a	35,47 a	9973,75 a
CV	15,24	9,71	1,86	2,20
Média	5,57	518,67	35,40	8992,27

\* médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

Na safra 2011/12, para os dois híbridos, a emergência e o estande final de plantas foram superiores nas linhas que apresentavam as sementes tratadas com os produtos testados (Tabela 5). Isto pode ser devido ao tratamento químico conferir maior proteção às sementes e plântulas contra o ataque de insetos praga, no caso do tiametoxam. Com relação ao ácido giberélico e ao Stimulate®, pode estar relacionado à ação desses hormônios sobre enzimas do estresse oxidativo, que possibilitaram as sementes, maior desenvolvimento em condições de estresse. Neste caso o tratamento de sementes contribuiu para o estabelecimento e manutenção do estande de plantas. Além disso, deve-se ressaltar a importância do tratamento de sementes em condições de estresse, sendo que esse efeito não foi observado na safra 2012/13, em que as condições climáticas foram adequadas.

Este fato é importante, pois na safra 2011/12, durante o período de emergência das plântulas ocorreu um período de déficit hídrico, dessa maneira, o tratamento de sementes pode proporcionar um melhor estande comparado as não

tratadas, o que influencia na uniformidade de emergência e consequente produção final.

De acordo com Von Pinho (1995), sob condições favoráveis à rápida germinação e emergência de plântulas, pode não haver resposta ao tratamento das sementes, no entanto, sob condições ambientais e de solo desfavoráveis, a resposta ao produto deve ser maior. Com isso, pode-se inferir que o emprego dos produtos reguladores de crescimento só seria eficiente naquelas situações em que a germinação é retardada, como ocorrência de estresses no momento da semeadura e diminui à medida que essas condições são minimizadas.

O diâmetro de colmo, número de folhas e altura final de plantas não diferiram com os tratamentos de sementes utilizados (Tabela 5). Estes componentes estão relacionados às condições ambientais e nutricionais e, como o experimento foi conduzido sob condições adequadas de nutrição do solo e de irrigação essas variáveis não foram afetadas.

Tabela 5 – Médias de emergência a campo (EM, %), estande de plantas (EST, plantas.m<sup>-1</sup>), altura de plantas (ALT, cm), número de folhas (NF) e diâmetro de colmo (DC, cm), de híbridos de milho, 30F53H e CD393 submetidos ao tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam e testemunha com água, em duas safras agrícolas. Santa Maria, UFSM, 2012.

Híbrido	Produto	Safr 2011/12				
		EM	EST	ALT	NF	DC
30F53H	Testemunha	52 b	5,20 b	240,1 a	15,30 a	2,27 a
	AG <sub>3</sub>	72 a	7,15 a	239,25 a	14,80 a	2,18 a
	Stimulate <sup>®</sup>	69 a	6,87 a	253,30 a	15,23 a	2,34 a
	Tiametoxam	67 a	6,72 a	257,73 a	15,15 a	2,33 a
CD393	Testemunha	25 b	2,47 b	255,17 a	14,42 a	2,27 a
	AG <sub>3</sub>	50 a	5,02 a	250,89 a	14,64 a	2,33 a
	Stimulate <sup>®</sup>	45 a	4,50 a	248,79 a	14,29 a	2,22 a
	Tiametoxam	44 a	4,37 a	239,24 a	14,42 a	2,17 a
Híbrido	Regulador	Safr 2012/13				
		EM	EST	ALT	NF	DC

30F53H	Testemunha	45 a	4,62 a	264,49 a	13,97 a	2,22 a
	AG <sub>3</sub>	60 a	4,55 a	260,25 a	14,05 a	2,20 a
	Stimulate®	64 a	4,53 a	265,80 a	13,95 a	2,26 a
	Tiametoxam	59 a	4,33 a	268,92 a	13,87 a	2,32 a
CD393	Testemunha	58 a	4,11 a	265,82 a	14,15 a	2,26 a
	AG <sub>3</sub>	74 a	4,33 a	261,42 a	14,07 a	2,32 a
	Stimulate®	66 a	4,63 a	268,80 a	14,05 a	2,24 a
	Tiametoxam	72 a	4,68 a	265,25 a	14,40 a	2,14 a

\* médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

O número de grãos por espiga apresentou diferença significativa apenas para o tratamento de sementes com o tiametoxam no híbrido 30F53H e na primeira safra (Tabela 6). Esta variável resulta da multiplicação do número de fileiras de grãos por espiga, que é dependente de condições nutricionais e, principalmente fatores genéticos (LOPES et al., 2007) e do número de grãos por fileira que é definido na pré-floração (V17), segundo Ritchie et al. (2003). Nesta fase, a planta já atingiu aproximadamente 50% do ciclo da cultura, por isso os efeitos do tratamento de sementes, nesta fase, são menos esperados, sendo sua ação mais efetiva na emergência de plantas e desenvolvimento inicial.

Para a massa de 100 grãos (Tabela 6), observou-se que sementes tratadas proporcionaram maior desenvolvimento e densidade dos grãos. Isso pode estar relacionado ao maior vigor e adequado desenvolvimento inicial das plântulas que se estabeleceram anteriormente e tiveram melhores condições para crescer e se desenvolver, produzir fotoassimilados e translocá-los aos grãos.

Para o rendimento de grãos, não se observou diferenças estatísticas entre os produtos, nas duas safras avaliadas e para os dois híbridos testados (Tabela 6). A não existência de respostas para a produtividade de grãos pode estar relacionada ao efeito dos produtos com efeito de reguladores do crescimento ser variável conforme o estágio de desenvolvimento da planta, sendo a sua ação mais efetiva na emergência das plântulas e no desenvolvimento inicial. Este resultado está de acordo com os de Macedo (2012), que não observou diferenças de produtividade de milho com a utilização do tratamento de sementes com tiametoxam. Porém discordam dos encontrados por Dourado Neto et al. (2004), que verificaram que o tratamento com o bioestimulante (Citocinina 0,135 + Ácido Indol-Butírico 0,075 +

Ácido Giberélico 0,075), via semente foi 17,35% maior que a média dos outros tratamentos. Também, Evangelista et al. (2010), concluíram que o tratamento de sementes de milho com um produto enraizante aumentou a produtividade em 9,92%, em relação a testemunha.

Tabela 6 – Médias do número de espigas por metro (NESP.m<sup>-1</sup>), número de grãos por espiga (NG.esp<sup>-1</sup>), massa de 100 grãos (MCG, g) e produtividade (Kg.ha<sup>-1</sup>), de híbridos de milho, 30F53H e CD393 submetidos ao tratamento de sementes com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) Stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam e testemunha com água, em duas safras agrícolas. Santa Maria, UFSM, 2013.

Híbrido	Produto	Safr 2011/12			
		NESP.m <sup>-1</sup>	NG.esp <sup>-1</sup>	MCG	Produtividade
30F53H	Testemunha	5,31 a	485,68 b	33,55 b	10633,71 a
	AG <sub>3</sub>	5,47 a	462,75 b	34,98 a	10700,25 a
	Stimulate <sup>®</sup>	6,25 a	503,07 b	34,73 a	11557,34 a
	Tiametoxam	5,00 a	583,45 a	34,05 b	14115,62 a
CD393	Testemunha	4,68 b	534,67 a	34,70 b	9088,59 a
	AG <sub>3</sub>	4,22 b	505,25 a	36,21 a	9566,05 a
	Stimulate <sup>®</sup>	5,47 a	517,15 a	35,84 a	8067,31 a
	Tiametoxam	6,25 a	483,76 a	35,65 a	9874,27 a
Híbrido	Produto	Safr 2012/13			
		NESP.m <sup>-1</sup>	NG.esp <sup>-1</sup>	MCG	Produtividade
30F53H	Testemunha	5,78 a	544,06 a	33,35 b	6441,85 a
	AG <sub>3</sub>	5,93 a	552,07 a	35,11 a	7802,54 a
	Stimulate <sup>®</sup>	5,78 a	502,84 a	34,55 a	7198,93 a
	Tiametoxam	6,25 a	535,49 a	34,40 a	7612,33 a
CD393	Testemunha	5,62 a	508,91 a	36,18 c	7078,87 a
	AG <sub>3</sub>	5,78 a	528,54 a	36,58 c	8548,40 a
	Stimulate <sup>®</sup>	6,09 a	499,15 a	38,79 a	7297,54 a
	Tiametoxam	5,62 a	551,79 a	37,79 b	8292,80 a

\* médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

## Conclusões

Em ambiente controlado, ácido giberélico e Stimulate® promovem aumento na velocidade de germinação.

Os produtos testados com efeito de regulador do crescimento vegetal estimulam a emergência e o estande de plantas, porém não há influência dos mesmos sobre a produtividade de grãos de milho.

## Referências

ARAGÃO, C.A. et al. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 43-48, 2003.

AVELAR, S.A.G. et al. The use of film coating on the performance of treated corn seed. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 186-192, 2012.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 26, n. 2, p. 211–252, 1964.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº45, de 17 de setembro de 2013. Anexo XXI - **Padrões para produção e comercialização de sementes de milho**. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/59241044/dou-secao-1-18-09-2013-pg-30>. Acesso em: 15 de novembro de 2013.

CASTRO, P.R.C. et al. Análise da atividade hormonal de tiametoxam através de biotestes. **Revista de Agricultura**, v. 83, p. 208-213, 2008.

CASTRO, P.R.C.; MELOTTO, E. Bioestimulantes e hormônios aplicados via foliar. In: BOARETO, A.E.; ROSOLEM, C.A. (Ed.) **Adução foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. v. 1, cap. 8, p. 191-235.

CASTRO, P.; PEREIRA, M. Bioativadores na agricultura. In: GAZZONI, D.L. **Tiametoxam: Uma revolução na agricultura brasileira**. 1 ed. São Paulo: Vozes, 2008.

DAN, L.G.M.; DAN, H.A.; BARROSO, A.L.L.; BRACCINI, A.L. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 131-139, 2010.

DOURADO NETO, D. et al. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 11, n. 1, p. 93-102, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EVANGELISTA, J.R.E. et al. Tratamento de sementes com enraizante e adubação foliar e seus efeitos sobre o desempenho da cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 109-113, 2010.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FORD, K.A. et al. Neonicotinoid insecticides induce salicylate-associated plant defense responses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, p.17527-17532, 2010.

HORII, A; McCUE, P.; SHETTY, K. Enhancement of seed vigour following and phenolic elicitor treatment. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 3, p. 623-632, 2007.

ISTA-INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **Handbook of vigor tests methods**. 3.ed. Zürich: ISTA, 1995. 117p.

LOPES, S.J. et al. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.

LUDWIG, M.P. et al. Desempenho de sementes e plantas de milho híbrido originadas de lotes de sementes com alta e baixa qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 83-92, 2009.

MACEDO, W.R. **Bioativador em culturas monocotiledôneas: avaliações bioquímicas, fisiológicas e da produção**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Piracicaba – SP, 2012. 79 p.

MACEDO, W.R.; CASTRO, P.R. de C. Thiamethoxam: molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 100, p. 299-304, 2011.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

McDONALD, M. D.; KHAN, A. A. Acid scarification and protein synthesis during seed germination. **Agronomy Journal**, v. 2, n. 75, p. 111-114, 1983.

MONDO, V.H.V. et al. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 143-155, 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. (Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.

NISHIMURA, C. et al. Histidine kinase homologs that acts as cytokinin receptors possess overlapping functions in the regulation of shoot and root growth in Arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 16, p. 1365-1377, 2004.

O'BRIEN, R.; FOWKES, N.; BASSOM, A.P. Models for gibberellic acid transport and enzyme production and transport in the aleurone layer of barley. **Journal of Theoretical Biology**, v. 267, p.15-21, 2010.

PEREIRA, L.M.A. et al. Tratamento fungicida de sementes de milho e metodologias para a condução do teste de frio. **Revista Ceres**, v. 55, n. 3, p. 210-217, 2008.

RITCHIE, S.W; HANWAY, J.J; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Goiânia: POTAFOS, 2003. 20 p (Informações agronômicas, 103).

SCHWECHHEIMER, C. Understanding gibberellic acid signaling—are we there yet? **Plant Biology**, v. 11, v. 1, p. 9-15, 2008.

SILVA, M. T. B. Inseticidas na proteção de sementes e plantas. **Seed news**: Pelotas, n. 5, p. 26-27, 1998.

STRIEDER, M.L. et al. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, v. 37, p. 634-642, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TEALE, W.D., PAPONOV, I.A., PALME, K. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 7, n. 847–859, 2006.

VON PINHO, E.V.R. Efeito do tratamento químico sobre a qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.) **Revista Brasileira de sementes**, v. 17, p. 23-28, 1995.

WAHYUNI, S. et al. Improvement of seedling establishment of wet seeded rice using GA and IBA as seed treatment. **Indonesian Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 2, p. 56-62, 2003.

WILDE, G. et al. Seed treatment effects on early-season pests of corn and on corn growth and yield in the absence of insect pests. **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v. 24, n. 4, p.177-192, 2007.

WOODWARD, A.W., BARTEL, B. Auxin: regulation, action, and interaction. **Annals of Botany**, v. 95, n. 707–735, 2005.

YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolism and its regulation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 225-251, 2008.

## CAPÍTULO IV

### MODELOS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO OBTIDAS POR DIFERENTES TRATAMENTOS DE SEMENTES

#### Growth models of maize plants by different seed treatment

#### Resumo

O objetivo do trabalho foi propor modelos de crescimento de híbridos de milho, a partir de sementes tratadas com produtos com efeito de reguladores do crescimento vegetal. Para tanto, utilizou-se sementes dos híbridos de milho: 30F53H e CD393. Os produtos utilizados foram: ácido giberélico, stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam, nas doses recomendadas pelo fabricante e testemunha tratada com água. As sementes foram semeadas nos anos agrícolas de 2011/2012 e 2012/13, no delineamento experimental blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 (2 híbridos e 4 produtos), com quatro repetições. Dez plantas de cada bloco, por tratamento, foram marcadas e nestas plantas avaliou-se a estatura, uma vez a cada sete dias. Posteriormente, foi ajustado o modelo de crescimento do co-seno, em função da soma térmica. O efeito dos produtos com função de regulador do crescimento vegetal, no tratamento de sementes varia com o híbrido utilizado e com o ambiente. Ambos os híbridos de milho podem ter as curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno. Para o híbrido 30F53H, os produtos Tiametoxam, na primeira safra e Stimulate<sup>®</sup>, na segunda safra alcançaram primeiro a máxima taxa de crescimento, com 548 e 550°C, respectivamente. Para o híbrido CD393, ácido giberélico atingiu primeiro a máxima taxa de crescimento, na safra I, e na safra II, não houve diferenças entre as curvas de crescimento.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Curvas de crescimento. Tiametoxam. Ácido giberélico. Stimulate<sup>®</sup>.

## Abstract

The objective of this work was to propose growth models of maize hybrids, using seeds treated with products with the effect of plant growth regulators. For this, seeds of hybrid maize were used: Pioneer 30F53H and CD393. The treatments were: gibberellic acid, Stimulate<sup>®</sup>, thiamethoxam, in the recommended doses and control treated with water. The seeds were seeded in the agricultural years 2011/12 and 2012/13, in the randomized block design, factorial 2 x 4 (hybrid x products), with four replications. Ten plants of each block, by treatment, were marked and in these plants the height was evaluated once every week. After, the growth model of the cosine was adjusted, as a function of the thermal sum. The effect of the products with effect to plant growth regulator, in the seed treatment, varies with the hybrid used and the environment. Both the hybrids may have growth curves adjusted by the cosine model. For hybrid 30F53H, the products thiamethoxam, in first harvest and Stimulate<sup>®</sup> in the second harvest, reached first the maximum growth rate first, with 548 and 550°C, respectively. For hybrid CD393, gibberellic acid first reached the maximum rate of growth in crop I and in the crop II, there were no differences between the growth curves.

**Key words:** *Zea mays* L. Growth curves. Thiamethoxam. Gibberellic acid. Stimulate<sup>®</sup>.

## Introdução

Os modelos de simulação do crescimento das culturas são representações matemáticas de processos de crescimento influenciados pela interações entre genótipo, ambiente e manejo da cultura (YANG et al., 2004; KARADAVUT et al., 2010). São uma ferramenta indispensável de apoio à pesquisa científica e para o planejamento de tratamentos culturais (HAMMER et al., 2002; HANSEN, 2002).

Através deles, pode-se prever o comportamento de uma cultura, submetida à ação de diversos fatores, analisar a influência destes fatores no que se refere: às limitações no crescimento e desenvolvimento das plantas, ao rendimento de massa seca e produção de grãos, além de analisar a viabilidade de implantação deste

tratamento de sementes em dada época de semeadura em determinada região de produção (JONES et al., 2006). Diante disso, a simulação constitui-se numa ferramenta importante no meio agrônomo, pelo fato de possibilitar a tomada de decisão quanto à necessidade de tratamentos culturais, quanto ao momento adequado para aplicação de um manejo, sem a necessidade de se implantar um experimento em campo.

No desenvolvimento do milho, a duração do ciclo em dias é inconsistente, devido ao fato da duração de subperíodos e ciclos da planta estar associado às variações das condições ambientais, e não ao número de dias. A temperatura apresenta-se como o elemento climático mais importante para prever os eventos fenológicos da cultura, desde que não haja deficiência hídrica (GADIOLI et al., 2000). De acordo com Karadavut et al. (2010), a temperatura afeta inúmeros processos fisiológicos nas plantas, entre eles, o crescimento e a área foliar. A resposta de processos biológicos à temperatura é melhor descrita de forma não linear, considerando-se as temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) de desenvolvimento (STRECK, 2004).

Modelos de crescimento não lineares representados por curvas sigmoidais através da utilização do modelo matemático do co-seno têm sido sugeridos por serem simples e mais conhecidos do que os normalmente utilizados na modelagem do crescimento de culturas, além de utilizarem a soma térmica como base para definir o modelo (LOPES et al., 2004). Porém, o comportamento das curvas de crescimento pode variar de acordo com o fenótipo, o ambiente a qual o mesmo é exposto (KARADAVUT et al., 2008), bem como com o uso de diferentes tecnologias, como por exemplo, o tratamento de sementes.

Atualmente, encontram-se no mercado, substâncias que atuam em rotas metabólicas das plantas, ativando enzimas, acelerando a velocidade de embebição, o que afeta o processo germinativo, determinando maior vigor, estatura, enraizamento, absorção de nutrientes entre outros benefícios (VIEIRA; CASTRO, 2001; HAMAYUN et al., 2010; MACEDO; CASTRO, 2011), que podem afetar a taxa de crescimento do milho e, então alterar os modelos de crescimento. Essas substâncias apresentam efeito de reguladores de crescimento vegetal, com os quais, as plantas previamente tratadas podem tornar-se mais tolerantes aos fatores de estresse (ARAGÃO et al., 2003; CASTRO; PEREIRA, 2008, CATANEO et al.,

2010), e desenvolver-se em condições subótimas de crescimento com maiores chances de atingir o potencial de rendimento desejado.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi propor modelos de crescimento de híbridos de milho, pelo modelo do co-seno, a partir do uso de sementes tratadas com produtos que apresentam efeito de reguladores do crescimento vegetal.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), nas safras agrícolas 2011/12 e 2012/13. Utilizaram-se sementes de dois híbridos de milho: 30F53H e CD393, provenientes da safra 2010/2011 e 2011/12, as quais foram submetidas a tratamento com produtos que atuam como reguladores do crescimento vegetal: ácido giberélico (Pró-gibb), tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>), 0,009% citocinina, 0,005% giberelina e 0,005% de auxina (Stimulate<sup>®</sup>) e testemunha, nas respectivas doses de 50g para 100Kg de sementes, 120mL para 60000 sementes, 1500mL para 100Kg de sementes, recomendadas pelo fabricante na cultura de milho, e a testemunha tratada com água na quantidade de 1500mL para 100Kg de sementes.

As sementes foram semeadas em campo, com densidade de 62.500 sementes ha<sup>-1</sup> em duas linhas de 5m, espaçadas 80cm entre linhas e 20cm entre plantas, com quatro repetições. Os tratos culturais foram realizados conforme indicações técnicas para o cultivo do milho no Rio Grande do Sul, safras 2010/11 e 2011/12 (FEPAGRO, 2011). A irrigação ocorreu de acordo com as necessidades da cultura.

Para a caracterização do crescimento da cultura, nos diferentes tratamentos foram marcadas, 10 dias após a emergência (DAE), cinco plantas em um metro de cada linha de semeadura, totalizando 10 plantas por bloco, e nas plantas a estatura da plantas foi medida, uma vez a cada semana até a produção de grãos. Esta variável (dependente) serviu de dados de entrada para o modelo do co-seno de crescimento e desenvolvimento relativo (LOPES et al., 2004).

O desenvolvimento relativo da cultura, calculado pela soma térmica, foi utilizado como variável independente do modelo a ser ajustado, para identificar e descrever a variação temporal do incremento de estatura e prever a época de máxima taxa de acúmulo. O pressuposto das curvas de crescimento é de que exista

um único ponto de máxima taxa de acúmulo durante o ciclo de crescimento de um vegetal.

Os dados de temperatura máxima e mínima do ar de cada dia foram coletados da Estação Meteorológica de Santa Maria, que se localiza ao lado do experimento, a fim de estimar os graus-dia (GD).

O valor do desenvolvimento relativo da cultura (graus dias relativo), para o  $i$ -ésimo dia, foi estimado por:

$$GDri = \sum_{j=1}^{ni} (\bar{T}_j - T_B) / GD_{pmf}, \text{ para } T_B \leq \bar{T}_j,$$

$$\bar{T}_j = (T_{m\acute{a}xj} + T_{m\acute{i}nj}) / 2$$

em que:  $\bar{T}_j$ , a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) do dia  $j$ ;  $T_{m\acute{a}xj}$  e  $T_{m\acute{i}nj}$ , as temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) máxima e mínima do ar;  $T_B$ , a temperatura basal da cultura de milho ( $10^{\circ}\text{C}$ , WISLIE, 1962).

No período da sementeira até a emergência, o desenvolvimento relativo da cultura foi considerado igual a zero ( $Dr_j = \text{zero}$ ). A partir da emergência das plântulas (1 DAE, primeiro dia após a emergência), a estatura de plantas começou a ser quantificada, e com estes valores estimaram-se os modelos de crescimento. Para a estatura de plantas, pressupõe-se que seu máximo valor seja alcançado na maturidade fisiológica, quando a taxa de acúmulo é nula, ocorrendo geralmente próximo ao desenvolvimento relativo equivalente a um.

Também foram calculadas as quantidades da estatura acumulada no  $i$ -ésimo dia e dividido pelo respectivo valor máximo (LOPES et al., 2004), obtendo-se os valores relativos de estatura de plantas.

Posteriormente, foi ajustado o modelo do co-seno (DOURADO NETO et al., 1998), com a introdução da constante  $\alpha$ , considerada como fator de forma da curva de crescimento.

$$Yr = \cos \left[ \frac{\pi}{2} (1 - Dr) \right]^{\alpha}, \text{ em que: } Dr = \text{desenvolvimento relativo; } \alpha = \text{parâmetro empírico.}$$

Na estimação das constantes deste modelo, foi usado o aplicativo Table Curve 2D v.2.03 (Jandel Scientific), que usa o procedimento iterativo para mínimos quadrados não-lineares de Levenberg-Marquardt (LOPES et al., 2004).

Os critérios utilizados para proceder o ajuste dos modelos de crescimento foram: (i) pressuposição de que o crescimento das plantas siga uma curva sigmoideal, (ii) análise da dispersão dos pontos no gráfico e (iii) desvio médio absoluto (DMA). O DMA foi calculado pela equação, proposta por Sarmiento (2006):

$$DMA = \sum_j |Y_j - \hat{Y}_j| / n$$

em que:  $Y_j$  = valor observado no j-ésimo dia;  $\hat{Y}_j$  = valor estimado; e,  $n$  = número de observações.

A qualidade dos modelos foi representada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$  ajustado) e o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA).

Depois de ajustado o modelo do co-seno, calculou-se o desenvolvimento relativo ( $Dr$ ) referente à máxima taxa de acúmulo, obtendo-se o valor máximo, pela primeira derivada, que corresponde ao ponto de inflexão (PI) da curva de crescimento e desenvolvimento.

O desenvolvimento relativo referente à taxa máxima de acúmulo ( $Dr_{\text{taxa máx}}$ ), para a estatura de plantas relativa ( $Yr$ ), foi estimado pela derivada do modelo, segundo a equação (Pimenta et al., 1999):

$$\hat{D}r_{\text{taxa máx.}} = Dr_j \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{q-1}} \right) \right]$$

Os gráficos foram confeccionados no aplicativo Microsoft Office Excel 2007. Primeiro se obteve o gráfico de pontos pela inserção conjunta dos dados do desenvolvimento relativo ( $Dr$ ) com as variáveis dependentes relativas ( $Yr$ ). A seguir, inseriu-se, novamente e de maneira conjunta, o desenvolvimento relativo ( $Dr$ ) com as variáveis dependentes estimadas ( $Y$ ) para a obtenção das curvas sigmoideais de crescimento e desenvolvimento.

Calculou-se o intervalo de confiança para o fator de forma ou parâmetro alfa ( $\alpha$ ) da curva para cada modelo. A partir destes intervalos de confiança, foram comparados o crescimento e desenvolvimento semanal dos híbridos nas duas safras. Quando o limite superior (LS) de um parâmetro está dentro do intervalo de outro, a forma da curva não difere entre os híbridos ou entre as safras, ou seja, o crescimento é semelhante.

## Resultados e discussão

As curvas de crescimento para a estatura de plantas, no cultivo de milho, foram distintas em função do híbrido e do tratamento de sementes com os produtos com efeito de regulador do crescimento, nas safras 2011/12 e 2012/13 (Figuras 1 e 2). A comparação dos modelos, através dos limites superior e inferior, do parâmetro alfa do modelo do co-seno entre os híbridos de milho mostrou que não é possível exprimir uma única curva de crescimento em estatura para os dois híbridos de milho (Tabela 1 e 2). Estes resultados concordam com Karadavut et al. (2010), que observou que o comportamento das curvas de crescimento podem mudar de acordo com o fenótipo a ser estudado e as condições ambientais, as quais o mesmo é exposto.

Na safra 2011/12, o híbrido 30F53H foi o primeiro a atingir a máxima taxa de crescimento em estatura ( $596^{\circ}\text{C}$ ) (Tabela 1) e  $586^{\circ}\text{C}$  na safra 2012/13 (Tabela 2), enquanto o híbrido CD393 atingiu com  $664^{\circ}\text{C}$ , na primeira safra (Tabela 1), e na safra seguinte atingiu a máxima taxa com  $596^{\circ}\text{C}$  (Tabela 2). Isso pode ter ocorrido em função das características genéticas do híbrido, pois apesar de apresentarem o mesmo ciclo, a soma térmica acumulada necessária para alcançar a maturidade fisiológica do híbrido CD393 é maior do que a do híbrido 30F53H.

Com relação aos tratamentos de sementes, com produtos que tem a função de regulador de crescimento vegetal, observa-se, para todos os casos, que os mesmos atingiram a máxima taxa de crescimento em estatura anteriormente a testemunha. Isso demonstra a eficiência dos produtos no tratamento de sementes e, que os mesmos proporcionam um crescimento inicial mais rápido, o que interfere no estabelecimento da cultura em campo e, conseqüentemente, podem aumentar o rendimento final, pois a altura de plantas pode estar relacionada à maior produção de grãos. Beleze et al. (2003) observaram que o híbrido que apresentou maior estatura, também apresentou maior produtividade de grãos.

Para o híbrido 30F53H, na safra 2011/12, as curvas de crescimento com as sementes tratadas não diferem, com exceção do tratamento de sementes com tiametoxam que foi a primeira a atingir a máxima taxa de acúmulo em estatura ( $548^{\circ}\text{C}$ ) (Tabela 1). Na safra 2012/13, a curva de crescimento do mesmo híbrido tratado com Stimulate<sup>®</sup> diferenciou-se dos demais produtos, atingindo a máxima taxa de crescimento com  $550^{\circ}\text{C}$  (Tabela 2).

A curva de crescimento do híbrido CD393, tratada com AG<sub>3</sub>, na safra 2011/12, diferiu dos demais e o mesmo atingiu a máxima taxa de crescimento com 600°C, valor este inferior aos demais produtos. Já na safra 2012/13 as curvas de crescimento com o tratamento de sementes não diferiram entre si, e assim pode-se utilizar uma única equação (curva) para descrever o crescimento do milho. Apesar disso, pode-se notar que o tratamento de sementes com Stimulate<sup>®</sup> e ácido giberélico atingiram a máxima taxa de estatura anteriormente (575°C) (Tabelas 1 e 2).

De forma geral, as curvas de crescimento mostraram boa qualidade de ajuste ao modelo logístico, pois o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi alto (Tabela 1). Este resultado valida o uso deste modelo na determinação de curvas de crescimento para a cultura de milho.

O desvio médio absoluto dos resíduos (DMA), que também avalia a qualidade de ajuste, foi menor no modelo ajustado ao híbrido 30F53H, com sementes tratadas com os produtos com efeito de regulador do crescimento vegetal em comparação a testemunha nas duas safras (Tabela 1), indicando melhor ajuste da curva de crescimento com os produtos, o que pode ser comprovado também com o maior  $R^2$ .

As curvas de crescimento mostraram as alterações no crescimento de acordo com o ambiente e com o tratamento de sementes utilizado. Observou-se através das curvas de crescimento que o período de rápido crescimento da planta foi compreendido entre a emergência e o pendoamento e, que com a utilização do tratamento de sementes houve crescimento mais rápido, o que implica em antecipação de manejos, tais como, a realização de irrigação e aplicação de fertilizantes, pois durante este período, as plantas requerem mais nutrientes.

Além disso, os resultados de curvas de crescimento bem ajustadas para os híbridos de milho permitem estimar os pontos críticos, necessários para que os pesquisadores e agricultores tenham informação dos períodos do ciclo mais adequados ao manejo da cultura.

Tabela 1 – Estimativa e limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança do parâmetro  $\alpha$ , ponto de inflexão – PI (°C dia) do modelo do co-seno ajustado para estatura de plantas de milho, em diferentes híbridos e tratamentos de sementes, na safra 2011/12. Santa Maria, RS, 2012.

Híbridos	Produtos	Parâmetro $\alpha$			DMA	PI (°C dia)	R <sup>2</sup>
		LI	alfa	LS			
30F53H	Testemunha	2,046	2,128	2,211	0,0193	596	91,77
	AG <sub>3</sub>	1,9368	2,0056	2,0744	0,0122	575	92,70
	Stimulate <sup>®</sup>	1,9266	1,9993	2,0720	0,0145	574	92,55
	Tiametoxam	1,8153	1,8690	1,9228	0,0124	548	95,34
CD393	Testemunha	2,4571	2,6488	2,8406	0,0133	664	79,13
	AG <sub>3</sub>	2,0422	2,1546	2,2669	0,0117	600	86,69
	Stimulate <sup>®</sup>	2,3222	2,5009	2,6796	0,0188	648	77,79
	Tiametoxam	2,3705	2,5264	2,6823	0,0235	651	79,65

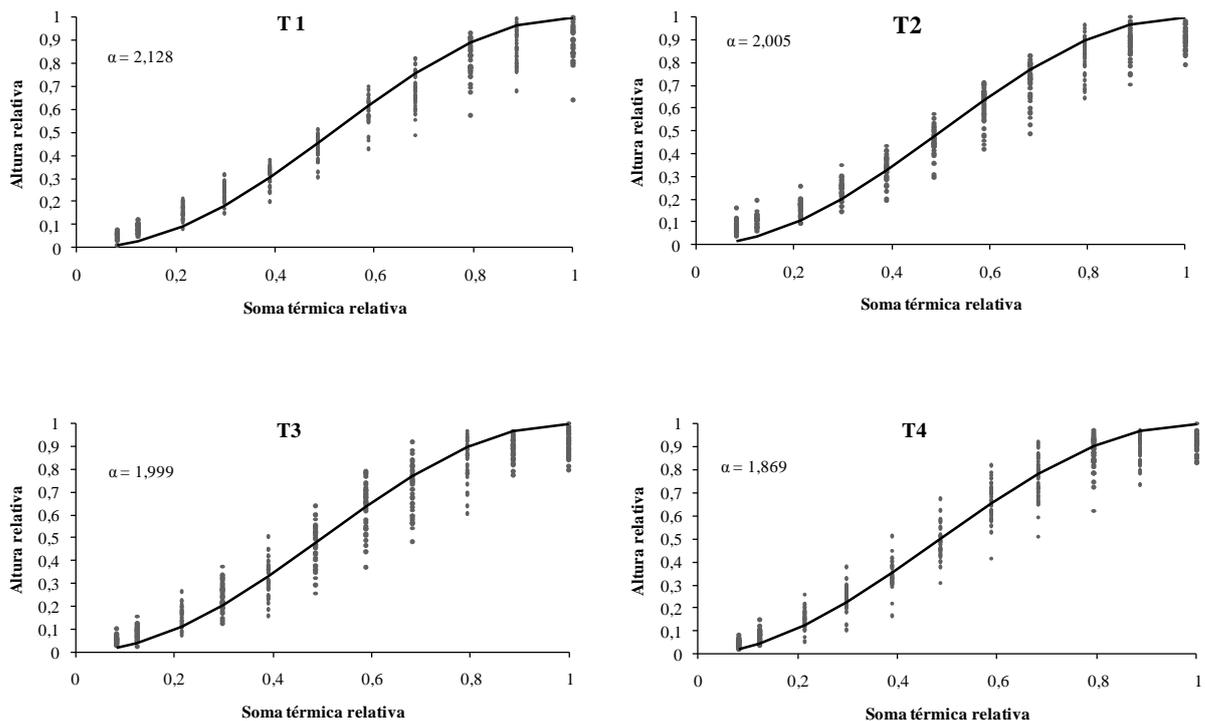


Figura 1 - Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2011/2012. Santa Maria, UFSM, 2012. T1: 30F53H (testemunha); T2: 30F53H (AG<sub>3</sub>); T3: 30F53H (Stimulate<sup>®</sup>) e T4: 30F53H (Tiametoxam). Modelo de crescimento do co-seno:

$$\text{seno: } Yr = \cos \left[ \frac{\pi}{2} (1 - Dr) \right]^\alpha$$

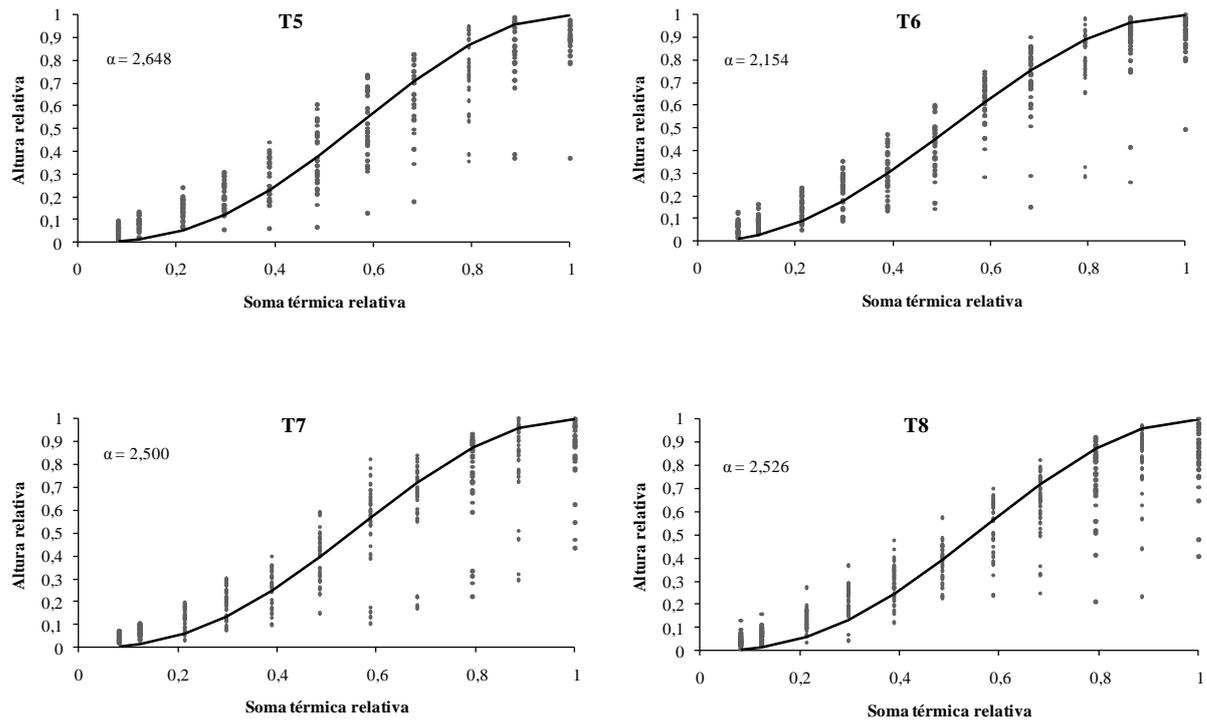


Figura 2 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2011/2012. Santa Maria, UFSM, 2012. T5: CD393 (testemunha); T6: CD393 (AG<sub>3</sub>); T7: CD393 (Stimulate<sup>®</sup>) e T8: CD393 (Tiametoxam). Modelo de crescimento do co-

$$\text{seno: } Yr = \cos\left[\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right]^\alpha$$

Tabela 2 – Estimativa e limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança do parâmetro  $\alpha$ , ponto de inflexão – PI (°C dia) do modelo logístico ajustado para estatura de plantas de milho, em diferentes híbridos e tratamentos de sementes, na safra 2012/13. Santa Maria, RS, 2013.

Híbridos	Produtos	Parâmetro $\alpha$			DMA	PI (°C dia)	R <sup>2</sup>
		LI	alfa	LS			
30F53H	Testemunha	1,9729	2,0304	2,0880	0,0137	586	94,47
	AG <sub>3</sub>	1,9501	2,0088	2,0675	0,0123	582	94,02
	Stimulate <sup>®</sup>	1,8063	1,8464	1,8866	0,0033	550	96,92
	Tiametoxam	1,9580	2,0243	2,0907	0,0120	585	92,81
CD393	Testemunha	2,0145	2,0867	2,1589	0,0136	596	91,91
	AG <sub>3</sub>	1,9896	2,0655	2,1414	0,0205	592	90,11
	Stimulate <sup>®</sup>	1,8905	1,9698	2,0491	0,0268	575	87,83
	Tiametoxam	1,9083	1,9704	2,0326	0,0201	575	92,73

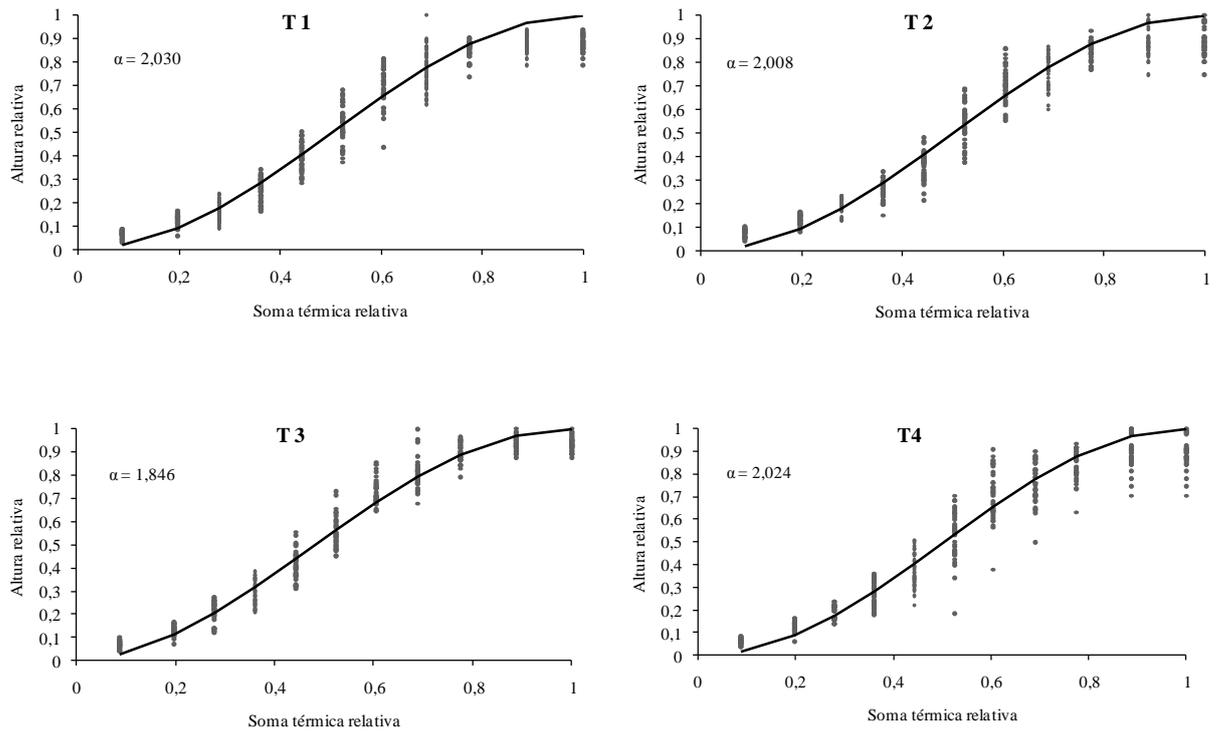


Figura 3 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2012/2013. Santa Maria, UFSM, 2013. Santa Maria, RS, 2013. T1: 30F53H (testemunha); T2: 30F53H (AG<sub>3</sub>); T3: 30F53H (Stimulate<sup>®</sup>) e T4: 30F53H (Tiametoxam).

crescimento do co-seno:

$$Yr = \cos \left[ \frac{\pi}{2} (1 - Dr) \right]^\alpha$$

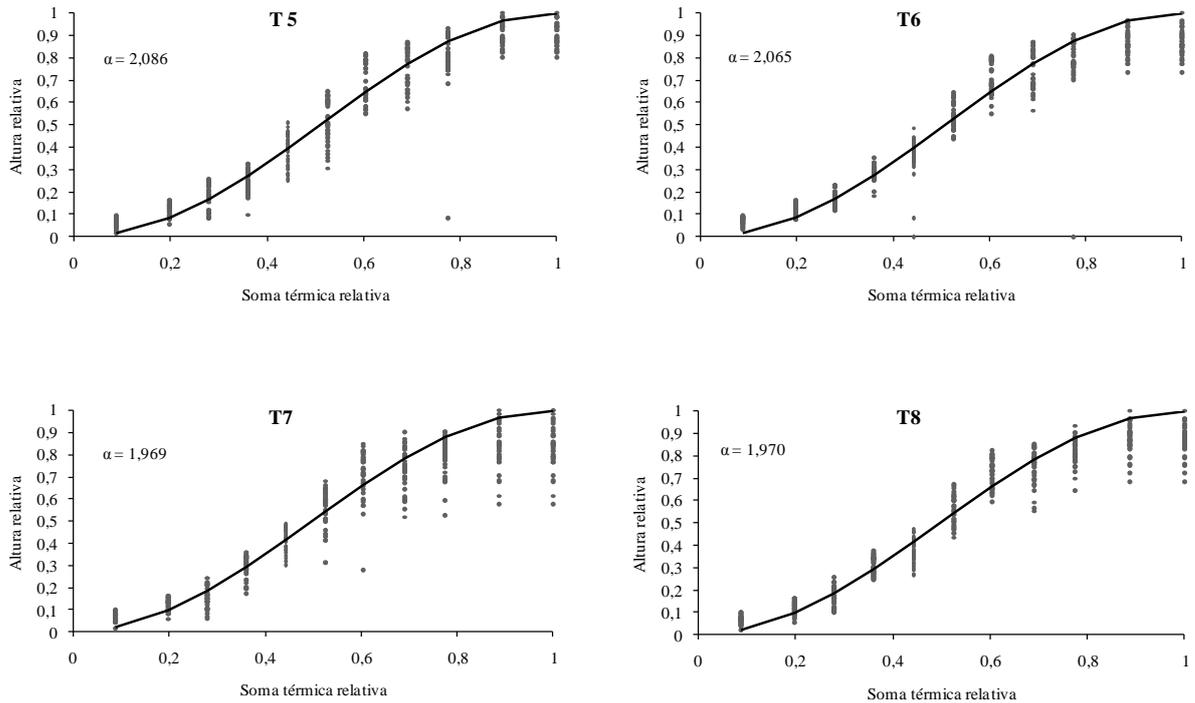


Figura 4 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo do co-seno para estatura de plantas de milho, em função da soma térmica acumulada relativa (Star, °C dia), e do tratamento de sementes com produtos reguladores do crescimento vegetal, na safra 2012/2013. Santa Maria, UFSM, 2013. T5: CD393 (testemunha); T6 CD393 (AG<sub>3</sub>); T7: CD393 (Stimulate<sup>®</sup>) e T8: CD393 (Tiametoxam). Modelo de crescimento do co-

$$\text{seno: } Yr = \cos \left[ \frac{\pi}{2} (1 - Dr) \right]^\alpha$$

## Conclusões

Para os híbridos de milho 30F53H e CD393 é possível estimar as curvas de crescimento pelo modelo do co-seno.

O efeito dos produtos com função de regulador do crescimento vegetal, no tratamento de sementes varia com o híbrido utilizado e com o ambiente.

Para o híbrido 30F53H, os tratamentos de sementes com Tiametoxam, na primeira safra e Stimulate<sup>®</sup>, na segunda safra alcançaram primeiro a máxima taxa de crescimento, com 548 e 550 °C, respectivamente. Já para o híbrido CD393, ácido giberélico atingiu primeiro a máxima taxa de crescimento, na safra I, e na safra II, não houve diferenças entre as curvas de crescimento.

## Referências

- ARAGÃO, C.A. et al. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 43-48, 2003.
- BELEZE, J.R.F. et al. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes estádios de maturação.1. Produtividade, características morfológicas e correlações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 529-537, 2003.
- CASTRO, P.; PEREIRA, M. Bioativadores na agricultura. In: GAZZONI, D.L. **Tiametoxam: Uma revolução na agricultura brasileira**. 1 ed. São Paulo: Vozes, 2008.
- CATANEO, A.C. et al. Improved germination of soybean seed treated with thiamethoxam under drought conditions. **Seed Science and Technology**, v. 38, n.1, p. 248-251, 2010.
- DOURADO NETO, D. et al. Principles of crop modeling and simulation. I. Uses of mathematical models in agriculture science. **Scientia Agricola**, v.55, p.46-50, 1998.
- FEPAGRO. Indicações técnicas para o cultivo do milho e do sorgo no Rio Grande do Sul: Safras 2011/2012 e 2012/2013. Porto Alegre: Fepagro, 2011. 140 p.
- GADIOLI, J. L. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.377-383, 2000.
- HAMAYUN, M. Exogenous Gibberellic Acid Reprograms Soybean to Higher Growth and Salt Stress Tolerance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 7226-7232, 2010.
- HAMMER, G. L.; KROPFF, M. J.; SINCLAIR, T. R.; PORTER, J. R. Future contributions of crop modeling—from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. **European Journal Agronomy**, v. 18, p. 15–31, 2002.
- HANSEN, J.W. Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. **Agricultural Systems**, v. 74, p. 309–330, 2002.
- JONES, J. W. et al. **Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 251-256.
- KARADAVUT, U.; KAYIŞ, S.A.; PALTA, Ç.; OKUR, O. A growth curve application to compare plant heights and dry weights of some wheat varieties. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v. 3, p. 888 – 892, 2008.

KARADAVUT, U.; PALTA, Ç.; KÖKTEN, K.; BAKOĞLU, A. Comparative study on some non-linear growth models for describing leaf growth of maize. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 12, p. 227–230, 2010.

LOPES, S.J.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; JASNIEWICZ, R. Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 392-400, 2004.

MACEDO, W.R.; CASTRO, P.R. de C. Thiamethoxam: molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 100, p. 299-304, 2011.

STRECK, N.A. 2004. A temperature response function for modeling leaf growth and development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). **Ciência Rural**, v. 34, p. 55 – 62, 2004.

VIEIRA, E.L.; CASTRO, P.R.C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, p. 222-228, 2001.

WISLIE, L.E. Net photosynthetic rate and stomatal and intracellular conductances subsequent to full leaf expansion in *Zea mays* L.: Effect of leaf position. **Photosynthetica**, v.19, n.3, p.397-401, 1985.

YANG, H. S.; DOBERMANN, A.; LINDQUIST, J. L.; WALTERS, D. T.; ARKEBAUER, T. J.; CASSMAN, K. G. Hybrid-maize—a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. **Field Crops Research**, v. 87, p. 131–154, 2004.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efeito dos produtos com função de regulador do crescimento vegetal, no tratamento de sementes, variou em função do híbrido utilizado e do ambiente.

De maneira geral, os produtos foram eficientes em estimular o potencial fisiológico do milho em condição de estresse, proporcionando maior velocidade de germinação e em campo, com um adequado e rápido estabelecimento de plântulas e maior taxa de crescimento. No entanto, as diferenças de vigor e crescimento observadas não se refletiram em maior produtividade.

Os reguladores de crescimento que apresentaram melhores respostas foram os que possuem base hormonal em sua constituição, ou seja ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup>. Dessa forma, os efeitos positivos observados desses produtos podem ser explicados pelo seu papel na divisão celular, capazes de manter ou melhorar seu desenvolvimento, principalmente em condições de estresse. Porém os mesmos também apresentaram situações com resultados negativos. Para tiametoxam os resultados positivos estiveram estritamente correlacionados ao híbrido utilizado e ambiente e, assim como para ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup>, apresentaram resultados negativos em determinadas situações.

Com relação as enzimas do estresse oxidativo, apesar de haver diferença estatística significativa entre os produtos para a maioria das situações, não foi observado um comportamento padrão de resposta. Além disso, não foi possível correlacionar esses dados com o maior desenvolvimento de plântulas. Dessa forma, as diferenças de desempenho de plântulas com os tratamentos de sementes com ácido giberélico e Stimulate<sup>®</sup> podem estar relacionadas com o sistema antioxidante não enzimático (carotenóides, ácido ascórbico, tióis não protéicos) ou com as demais enzimas antioxidantes não analisadas neste trabalho (catalase, ascorbato peroxidase e glutathione redutase) exigindo trabalhos futuros para explorar melhor essas respostas.

Mediante essas informações, a tomada de decisão dentro do manejo da lavoura de milho torna-se condicionada às condições ambientais e ao custo de produção. Pois apesar de proporcionar um rápido estabelecimento de plântulas, não há contribuição sobre o rendimento.

## ANEXOS

Anexo A – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (TF), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento total de plântulas (CTO) massa seca total de plântulas (MSTO) em dois híbridos de milho (30F53H e CD393), submetidas a dois potenciais hídricos (0,0 e -0,3) e reguladores do crescimento (testemunha, ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam).

FV	GL	Quadrados Médios				
		G	PC	IVG	CTO	MSTO
Potencial (A)	1	2970,37*	7740,04*	1178,17*	8475,22*	6,154*
Híbridos (D)	2	285,50*	94,04	71,94*	16,38*	0,102*
Produtos (C)	3	62,15	1094,82*	186,61*	17,02*	0,064*
A x D	2	201,50*	450,04*	217,98*	162,26*	0,061*
A x C	3	181,37*	143,48	91,10*	9,27	0,019*
C x D	6	139,27*	324,31*	40,96*	4,14	0,014*
A x D x C	6	133,83*	335,31*	17,84*	4,77	0,025*
Resíduo	72	50,20	127,81	6,14	3,66	0,0061
CV		7,69	16,38	6,56	9,87	13,90
Média		92	69	37,81	19,37	5,65

\* indicam significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Anexo B – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: peroxidação lipídica (TBARS), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), Guaiacol Peroxidase (POD) e Superóxido Dismutase (SOD), na parte aérea e raiz de plântulas de dois híbridos de milho (30F53H e CD393), submetidas a dois potenciais hídricos (0,0 e -0,3) e reguladores do crescimento (testemunha, ácido giberélico, Stimulate<sup>®</sup> e tiametoxam).

Quadrados médios (Parte aérea)					
FV	Gl	Tbars	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Guaiacol	SOD
Potencial (A)	1	2,22x10 <sup>-4*</sup>	8,42*	0,065	112,53*
Híbrido (C)	1	2,52x10 <sup>-8</sup>	1,13	0,019	81,60*
Regulador (D)	3	1,9x10 <sup>-5*</sup>	6,08	0,014*	29,24*
A x C	1	1,4x10 <sup>-5*</sup>	1,63	0,075*	27,06*
A x D	3	3,1x10 <sup>-5*</sup>	4,23	0,010*	2,85*
C x D	3	3,2x10 <sup>-5*</sup>	2,94	0,018*	22,17
A x C x D	3	3x10 <sup>-6*</sup>	1,12	0,009*	21,55*
Erro	32	8,57x10 <sup>-7</sup>	2,20	0,002	4,17
Média		0,0153	1,127	0,243	8,45
CV		6,01	11,75	21,09	24,18
Quadrados médios (Raiz)					
FV	Gl	Tbars	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Guaiacol	SOD
Potencial (A)	1	1,0x10 <sup>-3*</sup>	0,92*	1,35*	1,05*
Híbrido (C)	1	5,67x10 <sup>-4*</sup>	2,69*	0,01*	4,46*
Regulador (D)	3	2,56x10 <sup>-4*</sup>	0,74*	0,06*	4,92*
A x C	1	3,01x10 <sup>-4*</sup>	3,37*	0,09*	31,09*
A x D	3	1,42x10 <sup>-4*</sup>	0,61*	0,08*	12,84*
C x D	3	5,7x10 <sup>-5*</sup>	1,02*	0,03*	5,47*
A x C x D	3	8,6x10 <sup>-5*</sup>	1,39*	0,01*	4,67*
Erro	32	4,0x10 <sup>-6</sup>	0,02	0,03	0,11
Média		0,0145	1,180	0,922	2,77
CV		13,59	12,70	6,78	12,08

\* indicam significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Anexo C – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: germinação (G), primeira contagem (PC), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA), de raiz (CRA) e massa seca de plântulas (MS).

FV	GL	Quadrados médios (QM)					
		G	PC	IVG	CPA	CRA	MS
Potencial (A)	4	6929,6*	44140,28*	72,48*	118,74*	748,23*	0,326*
Híbrido (B)	1	140,83*	168,03*	1,31*	54,99*	130,92*	0,136*
Regulador (C)	2	43,33	1813,03*	8,43*	10,32*	9,26*	0,007
A x B	4	282,75*	64,61*	0,67*	18,29*	15,61*	0,006
B x C	2	224,93*	732,43*	1,04*	4,03*	2,36	0,032
A x C	8	15,91	677,90*	2,86*	2,85*	22,09*	0,005
A x B x C	8	71,85*	218,14*	1,37*	3,15*	3,60*	0,010
erro	90	32,38	12,05*	0,12*	0,42	1,43	0,005
CV		6,60	8,86	9,50	11,70	10,35	8,25
Média		86	39	11,53	5,55	11,56	0,393

\* indicam significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Anexo D – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), teste de frio (TF), índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de dois híbridos de milho, 30F53H e CD393, tratadas com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2012.

FV	GL	Quadrados Médios			
		G	PC	TF	IVG
Híbridos (A)	1	10,56	506,25*	162*	232,74*
Produtos (D)	3	11,06	740,16*	107,50*	76,26*
A x D	3	4,06	118,41	141*	23,74*
Resíduo	56	7,52	90,80	10	1,46
CV		2,78	11,23	3,28	3,06
Média		99	85	96	39,57

\* significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Anexo E – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CRA), comprimento total (CTO), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSRA) e massa seca total (MSTO) de sementes de dois híbridos de milho, 30F53H e CD393, tratadas com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate®, tiametoxam e testemunha com água. Santa Maria, UFSM, 2012.

FV	Quadrados Médios						
	G L	CPA	CRA	CTO	MSPA	MSRA	MSTO
Híbridos (A)	1	261,23*	20,25*	180,16*	0,369*	0,726*	0,056
Produtos (D)	3	1,11*	7,81*	18,71	0,006*	0,027*	0,038
A x D	3	0,94*	4,68	6,40	0,001*	0,004	0,010
Resíduo	24	0,25	1,98	8,69	0,0004	0,003	0,004
CV		6,19	6,48	9,96	6,68	10,80	7,54
Média		0,33	0,53	0,87	8,17	21,75	29,61

\* significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Anexo F – Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas: emergência de plântulas (EM), estande de plantas por metro (EST), altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), número de espigas por metro (NESP/m), número de grãos por espigas (NG/esp), massa de 100 sementes (MCS) e produtividade (PROD) de sementes de dois híbridos de milho, 30F53H e CD393, tratadas com produtos com efeitos de reguladores do crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Stimulate<sup>®</sup>, tiametoxam e testemunha com água, em duas safras agrícolas 2011/12 e 2012/13. Santa Maria, UFSM, 2012.

Quadrados Médios						
FV	GI	EM	EST	ALT	NF	DC
Bloco	3	38,76	0,28	204,56	0,24	1,89
Safra (A)	1	1378,26*	10,61*	4636,58*	8,23*	0,55
Híbrido (C)	1	763,14*	24,32*	7,96	0,89	0,69
Regulador (D)	3	1158,84*	4,47*	113,94	0,03	0,21
A x C	1	4641,01	21,55*	0,80	3,13*	0,26
A x D	3	37,39	3,51*	6,48	0,02	0,11
C x D	3	35,59	0,29	307,49	0,12	6,84
A x C x D	3	35,89	0,12	190,40	0,22	0,35
Erro	45	120,39	0,84	223,73	0,34	2,84
Média		58	4,88	256,57	14,42	2,25
CV		19,37	18,84	5,83	4,07	7,47

Quadrados médios					
FV	GI	NESP/m	NG/esp	MCS	Produtividade
Bloco	3	0,52	2630,84	0,133	4749022,16
Safra (A)	1	4,44*	5407,21	12,41*	136070650,22*
Híbrido (C)	1	1,03	404,16	72,39*	17010345,40*
Regulador (D)	3	1,30	3268,01	7,22*	8893166,83*
A x C	1	0,15	674,63	11,73*	39517976,30*
A x D	3	0,68	3023,92	1,13	3126795,28
C x D	3	0,72	2403,17	1,42*	2715540,55
A x C x D	3	1,98	8176,83*	1,39*	1960370,01
Erro	45	0,79	2538,62	0,43	2755462,86
Média		5,60	518,66	35,40	8992,27
CV		15,97	9,71	1,86	2,20

\* significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Anexo G – Precipitação, temperatura mínima e máxima do ar no período compreendido entre dezembro de 2011 e março de 2012 (safra 2011/12) (A) e dezembro de 2012 e março de 2013 (safra 2012/13) (B). Dados climáticos coletados na Estação Meteorológica de Santa Maria da Universidade Federal de Santa Maria.

