

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

**ESTUDO DE SUBSTÂNCIAS COM EFEITO DE  
REGULADOR DE CRESCIMENTO  
NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DO ARROZ IRRIGADO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Mara Grohs**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**ESTUDO DE SUBSTÂNCIAS COM EFEITO DE REGULADOR  
DE CRESCIMENTO  
NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DO ARROZ IRRIGADO**

**por**

**Mara Grohs**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado 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  
**Mestre em Agronomia**

**Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

G874e Grohs, Mara

Estudo de substâncias com efeito de regulador de crescimento no potencial fisiológico do arroz irrigado / por Mara Grohs. – 2012.

88 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Enio Marchesan

Coorientador: Nilson Lemos de Menezes

Coorientador: Fernando Teixeira Nicoloso

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2012

1. Ácido giberélico 2. Estresse 3. Haf Plus<sup>®</sup> 4. Tiametoxam I. Marchesan, Enio II. Menezes, Nilson Lemos de III. Nicoloso, Fernando Teixeira IV. Título.

CDU 633.18

Ficha catalográfica elaborada por por Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109  
Biblioteca Central UFSM

©2012

Todos os direitos autorais reservados a Mara Grohs. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DE SUBSTÂNCIAS COM EFEITO DE REGULADOR DE  
CRESCIMENTO  
NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DO ARROZ IRRIGADO**

elaborado por  
**Mara Grohs**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Enio Marchesan, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Nilson Lemos de Menezes, Dr.**  
(UFPel - Co-orientador)

---

**Elmar Luiz Floss, Dr.**  
(INCIA)

**Santa Maria, 17 de fevereiro de 2012**

Com imenso carinho e gratidão, DEDICO:

A toda minha família, principalmente à minha vó, **Doroti de Moura**, onde me espelhei para ter força de lutar honestamente pela concretização dos meus sonhos. Ao meu segundo pai,

**Décio Tischler Fontanari** pela ajuda em todas as horas da vida.

À **Adriano Flores Corrêa**, pelo companheirismo e pelo seu amor.

## AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares pelo incentivo, apoio e carinho durante toda essa caminhada e pelo tempo de convívio que nós foi suprimidos.

Ao meu orientador, professor Enio Marchesan, pelo exemplo de profissional, orientação, ensinamentos e por acreditar no meu potencial.

Ao meu namorado Adriano Flores Corrêa e toda sua família pelo companheirismo, acolhida, ensinamentos, amor, amizade e por todas as horas de ajuda prestada durante a condução dos experimentos e principalmente pela sua compreensão.

Aos meus colegas de pós-graduação Gerson Sartori, Guilherme Londeiro, Gustavo Mack Teló, Rafael Bruck Ferreira, pelos vários anos de convivência, troca de experiência e trabalho e em especial a Paulo Fabrício Sachet Massoni por todos os ensinamentos sobre a cultura do arroz, mais principalmente pela amizade verdadeira.

Aos estagiários do setor de agricultura, Cristian Azevedo, Lucas Lopes Coelho, Maurício de Oliveira e Fabrício Bulcão pela amizade, ajuda, sacrifício e principalmente por tornarem a rotina da várzea mais divertida. Em especial aos bolsistas Tiago Formentini e Rodrigo Roso, pela amizade e ajuda incondicional nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela infra-estrutura que me permitiu a excelente formação profissional durante estes sete anos de estudo.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Às amigas e eternas colegas de profissão, Djeimi Janisch, Elisandra Pocojeski, Katiule Moraes e Tatiani Reis da Silveira pelo apoio e amizade em todos os momentos dessa caminhada e a amiga Bibiana Moraes pela presteza, ajuda e amizade na realização de uma etapa desconhecida.

Ao Setor de Fisiologia e Setor de Sementes da UFSM, em especial aos co-orientadores Nilson Lemos de Menezes e Fernando Teixeira Nicoloso pelo auxílio durante o desenvolvimento do projeto e pela presteza e disponibilidade do espaço.

Aos ex-estagiários do Setor de Agricultura, em especial aos acadêmicos do curso de Agronomia: Anelise Leucena, André Gianlupe, Fabrício Rodrigues, Dâmaris Santos, Jonatas

Maciel, Diogo Cezimbra, Guilherme Cassol, Marcos Marchezan, João Paulo Refatti, Mariah Marques e Noelle Foletto.

Aos grandes amigos e ex-colegas do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado, Edinalvo Camargo, Melissa Walter, Jaqueline Golombieski, Fernando dos Santos, Tiago Rossato, Diego Arosemena e Alejandro Fausto Kraemer.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

# ESTUDO DE SUBSTÂNCIAS COM EFEITO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DO ARROZ IRRIGADO

AUTOR: MARA GROHS

ORIENTADOR: ENIO MARCHESAN

Santa Maria, RS, 17 de fevereiro de 2012

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a interferência de substâncias com efeito de regulador de crescimento, aplicados via semente, no potencial fisiológico de sementes de cultivares de arroz submetidas à condição de estresse por temperatura baixa, buscando identificar o mecanismo enzimático de atuação desses produtos, bem como seu desempenho em campo, sobre diferentes épocas de semeadura e sistemas de cultivo. Para isso, diferentes experimentos foram conduzidos em área experimental de várzea e em laboratório, utilizando o fito-hormônio ácido giberélico, o inseticida tiametoxam e um fertilizante organo-mineral, Haf Plus<sup>®</sup>. De maneira geral, os produtos testados aumentam a germinação final da maioria das cultivares de arroz, tendo sua eficiência atrelada a existência de temperatura baixa, com maior destaque para o ácido giberélico, que além de influenciar a germinação final, aumenta o vigor das sementes. Nas cultivares sensíveis ao frio, como Irga 424, não há influência dos produtos no potencial fisiológico. Os produtos atuam de forma benéfica sobre o sistema antioxidante das plantas, principalmente sobre a atividade da enzima superóxido dismutase, diminuindo a produção de radicais livres e a peroxidação lipídica. No entanto, as diferenças de vigor entre as amostras não foram suficientemente amplas para que se manifestassem em condições de campo, em relação ao estabelecimento da lavoura. À medida que as condições do ambiente tornam-se menos favoráveis, como em uma época antecipada de semeadura ou em sistema de cultivo convencional há uma contribuição maior dos produtos sobre o desempenho agrônômico, não se refletindo, no entanto, sobre o rendimento.

**Palavras-chave:** Ácido giberélico. Estresse. Haf Plus<sup>®</sup>. Tiametoxam.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduate Program in Agronomy  
Universidade Federal de Santa Maria

# **STUDY OF EFFECT OF SUBSTANCES WITH GROWTH REGULATOR THE POTENTIAL PHYSIOLOGICAL IRRIGATED RICE**

AUTHOR: MARA GROHS

ADVISOR: ENIO MARCHESAN

Santa Maria, RS, February 17<sup>th</sup>, 2012

The objective of this study was to evaluate the interference of substances with effect of growth regulator, applied to seeds in physiological quality of rice seed subjected to the condition of low temperature stress, seeking to identify the enzymatic mechanism of action of these products, well as their performance on the field, on different sowing dates and cropping systems. For this reason, various experiments were conducted at the experimental of field and in the laboratory using the phytohormone gibberellic acid, the insecticide thiamethoxam and an organo-mineral fertilizer, Haf Plus<sup>®</sup>. In general, the products tested increased the germination end of most rice cultivars, and their efficiency linked to the existence of low temperature, with greater emphasis on the gibberellic acid, which also influence the final germination, increases seed germination. In cold-sensitive cultivars, as Irga 424, there is no influence of the products in the physiological. The products act beneficially on the antioxidant system of plants, mainly on the activity of superoxide dismutase, reducing free radical production and lipid peroxidation. However, the difference in vigour between the samples were not sufficiently large so that manifest themselves in the field, for the establishment of the crop. As environmental conditions become less favorable, as in an early planting season or in the conventional tillage is a major contribution of the products on the agronomic performance, not reflecting, however, on yield.

**Key words:** Gibberellic acid. Haf Plus<sup>®</sup>. Stress. Thiamethoxam.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	13
<b>Potencial fisiológico de sementes de arroz tratadas com ácido giberélico, tiametoxam e Haf Plus® em condições de temperatura baixa</b> .....	13
Resumo.....	13
Abstract.....	14
Introdução.....	14
Material e métodos.....	15
Resultados e discussão.....	18
Conclusão.....	21
Referências bibliográficas.....	21
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	27
<b>Enhancement of antioxidant activity and rice seed vigour and following gibberellic acid, thiamethoxam and Haf Plus® treatment on low-temperature</b> .....	27
Abstract.....	27
Introduction.....	28
Materials and methods.....	30
Results and discussion.....	33
Conclusion.....	37
References.....	38
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	49
<b>Ácido giberélico, Haf Plus® e tiametoxam no desempenho agrônômico de cultivares de arroz irrigado semeadas em diferentes épocas de semeadura</b> .....	49
Resumo.....	49
Abstract.....	50
Introdução.....	51
Material e métodos.....	52
Resultados e discussão.....	55
Conclusão.....	59
Referências bibliográficas.....	60
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	69
<b>Desempenho agrônômico de cultivares de arroz irrigado tratadas com ácido giberélico, Haf Plus® e tiametoxam semeadas em diferentes sistemas de cultivo</b> .....	69
Resumo.....	69
Abstract.....	70
Introdução.....	71
Material e métodos.....	72
Resultados e discussão.....	75
Conclusão.....	79
Referências bibliográficas.....	79
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	88

## INTRODUÇÃO

A qualidade das sementes utilizadas atualmente é proveniente de um conjunto de características que determinam seu valor para a semeadura, através da interação de atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária.

Dentre esses fatores, o potencial fisiológico de sementes reúne informações sobre a germinação e o vigor das sementes. O estabelecimento adequado do estande depende da utilização de sementes com alto potencial fisiológico, capazes de germinar uniforme e rapidamente, sob ampla variação do ambiente. A redução da porcentagem e velocidade de emergência de plântulas é uma das consequências da interação do potencial fisiológico das sementes com as condições do ambiente, podendo acarretar uma emergência atrasada ou “falhas” no estande, que podem reduzir a produção e a uniformidade das plantas por ocasião da colheita.

Há diversas estratégias que se pode lançar mão para “manipular” esse potencial. Obviamente que as estratégias envolvidas no processo de produção das sementes são as mais importantes (genótipo, controle de patógenos e insetos, nutrição da planta-mãe etc). No entanto, há outros mecanismos disponíveis que podem interferir no potencial fisiológico da semente no momento da semeadura. Inúmeros produtos utilizados na agricultura que, possivelmente, atuam em determinadas fases do metabolismo da semente durante o processo de germinação, estão disponíveis no mercado, os quais incluem fito-hormônios, já intensamente estudados, compostos naturais com constituição basicamente orgânica com diversos nutrientes, chegando a produtos sintéticos, fungicidas e inseticidas, todos considerados substâncias com efeito de regulador de crescimento, passíveis de interferir no melhor estabelecimento das culturas.

Dentre as grandes culturas, o arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) parece ter espaço para a adoção dessa tecnologia. Para o arroz, a semeadura realizada na época recomendada eleva a produção, devido à coincidência da fase reprodutiva do arroz com o período de maior disponibilidade de radiação solar e, com isto, potencializa-se a resposta do conjunto de tecnologias preconizado para obtenção de elevados rendimentos. Porém, no início da época de semeadura, as condições climáticas, relativas à temperatura, não são as mais favoráveis, com temperaturas do solo abaixo do que seria considerado ideal para o processo germinativo, o que leva ao atraso da emergência ou possíveis prejuízos decorrentes da verificação de falhas no estabelecimento da cultura. Poderia ser estratégico a utilização de substâncias com efeito

de regulador de crescimento, pois os mesmos podem modificar o potencial fisiológico das sementes visando a minimização da condição de estresse por temperatura baixa.

O fito-hormônio é um composto orgânico, não nutriente, de ocorrência natural, produzido na planta, que inibe, promove ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Englobam essa classe as auxinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e as giberelinas. Dentro das 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*. Dentre os produtos sintéticos que podem apresentar efeito de regulador de crescimento, estão os inseticidas e fungicidas. Há anos, são estudados os efeitos de alguns inseticidas da classe dos neonicotinóides, como imidaclopride, sendo que mais recentemente os estudos concentraram-se no tiametoxam. Ainda não está elucidado o local de atuação desses produtos, mas parece estar ligado a ativação das defesas da planta em condição de estresse abiótico.

Além de fito-hormônios e produtos sintéticos, mais recentemente estão disponíveis no mercado produtos de origem natural, animal ou vegetal. Os produtos de origem vegetal podem apresentar em sua constituição desde extrato de algas, resíduos da indústria alimentícia, como bagaço de laranja, caroço de algodão, torta de soja entre outros. Essa composição orgânica passa por processos fermentativos que liberam substâncias como vitaminas, aminoácidos, micronutrientes e até mesmo fito-hormônios, os quais podem influenciar no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a interferência de reguladores de crescimento sintéticos sobre o potencial fisiológico de cultivares de arroz submetidas a condição de estresse por temperatura baixa (Capítulo I), buscando identificar o mecanismo enzimático de atuação desses produtos (Capítulo II), bem como seu desempenho em campo, sobre diferentes épocas de semeadura (Capítulo III) e sistemas de cultivo (Capítulo IV).

## CAPÍTULO 1

### **POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE ARROZ TRATADAS COM ÁCIDO GIBERÉLICO, TIAMETOXAM E HAF PLUS® EM CONDIÇÕES DE TEMPERATURA BAIXA**

**Physiological quality of rice seeds treated with gibberellic acid, thiamethoxam and Haf Plus® under conditions of low-temperature**

#### **Resumo**

O rápido e uniforme estabelecimento de uma lavoura é importante para aprimorar a produção de arroz. Essa condição, no entanto, sofre influência de diversos fatores, entre eles a temperatura do solo no momento da semeadura, a qual poderá atrasar a germinação das sementes comprometendo o estande final. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento de substâncias com efeito de regulador de crescimento aplicados em sementes de diferentes cultivares de arroz irrigado em condições de temperatura baixa. Para tanto, o experimento foi desenvolvido no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições em esquema bifatorial, onde o fator A foi representado pelos diferentes produtos (ácido giberélico, tiametoxam e Haf plus®); e o fator B, as cultivares de arroz irrigado (Irga 424, Irga 425, Puita Inta CL e Avaxi CL). O experimento foi reproduzido em duas temperaturas distintas, 17 e 25°C. Os resultados indicaram que ácido giberélico é eficiente em aumentar o vigor das cultivares de arroz e que Haf Plus® e tiametoxam, juntamente com ácido giberélico, aumentam a porcentagem de germinação final em temperatura de 17°C. A interferência dos produtos está atrelada a ocorrência de temperatura baixa e à cultivar utilizada, sendo que em cultivares sensíveis ao frio não há influência dos produtos utilizados.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa*. Fito-hormônio. Inseticida. Fertilizante organo-mineral.

## **Abstract**

The rapid and uniform establishment of a crop is important to improve rice production. This condition, however, is influenced by several factors, including soil temperature at planting, which may delay seed germination compromising stand. The objective of this study was to evaluate the behavior of substances with effect of growth regulator applied to seeds of different rice cultivars under conditions of low temperature. Thus, the experiment was conducted in a completely randomized design with four replications in a factorial model, where factor A was represented by different products (gibberellic acid, thiamethoxam and Haf plus<sup>®</sup>), and factor B, rice cultivars (Irga 424, Irga 425, Puita Inta CL and Avaxi CL). The experiment was replicated at two different temperatures, 17°C and 25°C. The results indicated that gibberellic acid is effective in increasing the vigor of the cultivars of rice and Haf Plus<sup>®</sup> and thiamethoxam, along with gibberellic acid, increase the percentage of germination temperature of 17°C. The interference of the products is linked to the occurrence of low temperature and cultivar, and cultivars sensitive to cold there is no influence of the products used.

**Key words:** *Oryza sativa*. Phytohormone. Insecticide. Organo-mineral fertilizer.

## **Introdução**

O rendimento médio de arroz irrigado do Estado do Rio Grande do Sul (RS) tem aumentado a cada safra, em função do aprimoramento tecnológico e genético, associado à transferência de tecnologia aos técnicos e agricultores. Na última década, comprovou-se que a semeadura realizada na época preferencial eleva a produção, devido à coincidência da fase reprodutiva do arroz com o período de maior disponibilidade de radiação solar e, com isto,

potencializa-se a resposta do conjunto de tecnologias preconizado para obtenção de elevados rendimentos (SOSBAI, 2010). Porém, ao antecipar a semeadura, encontram-se condições de baixas temperaturas do solo e do ar, que causam estresses durante o crescimento e desenvolvimento inicial das plantas, variável em cada região e ano de cultivo.

O processo de germinação compreende uma sequência de reações bioquímicas onde substâncias de reserva são desdobradas, transportadas e resintetizadas no eixo embrionário, sendo sua velocidade de ocorrência altamente dependente da temperatura (MARCOS FILHO, 2005). A temperatura ideal para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 25°C e 30°C (YOSHIDA, 1981). Temperaturas abaixo desse intervalo podem ocasionar um estresse por frio, o qual é considerado um dos estresses abióticos mais importantes para a planta de arroz (YADAV, 2009), determinando alterações nos padrões de crescimento e desenvolvimento das plântulas, principalmente por afetar a expressão de isoenzimas envolvidas no processo germinativo (MERTZ et al., 2009).

Essa situação agrava-se quando se associa estresses ambientais a sementes com menor vigor. Sementes nessa condição prejudicam os eventos da germinação, originando plântulas com menor taxa de crescimento devido a sua menor capacidade de transformação e suprimento de reservas (HOFS et al., 2004). Nesse sentido, o potencial fisiológico das sementes e o estabelecimento da cultura, no campo, é muito dependente das condições ambientais e de solo sob os quais as sementes ficam expostas.

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. Essas substâncias apresentam efeito de reguladores de crescimento, com os quais as plantas previamente tratadas podem tornar-se mais tolerantes a fatores de estresse (ARAGÃO et al., 2003; CASTRO & PEREIRA, 2008), podendo desenvolver-se em condições subótimas de crescimento com maiores chances de atingir o potencial de rendimento desejado.

O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento de substâncias com efeito de regulador de crescimento no potencial fisiológico de sementes de diferentes cultivares de arroz irrigado, semeadas sob temperatura ótima (25°C) e subótima (17°C).

## **Material e métodos**

O experimento foi conduzido no ano de 2010, no Setor de Agricultura do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando uma câmara de incubação, tipo *Biochemical oxygen demand* (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  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

O esquema experimental foi um bifatorial, com quatro repetições (4x4). O fator A foi composto de sementes de quatro cultivares de arroz irrigado (Puita Inta CL, Irga 424, Irga 425 e Avaxi CL). Puita Inta CL foi escolhido por ser a cultivar mais semeada atualmente no RS; Irga 424 por apresentar alto potencial produtivo; Irga 425 por ser a única cultivar produzida no RS para o sistema pré-germinado; e Avaxi CL, por ser um híbrido. O fator B foi constituído pelo tratamento das respectivas sementes com substâncias com efeito de regulador de crescimento, ácido giberélico, tiametoxam, Haf Plus<sup>®</sup> e uma testemunha com água. O ácido giberélico, na sua forma AG<sub>3</sub>, foi escolhido por ser considerado o hormônio da germinação; tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>) é 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; Haf Plus<sup>®</sup>, um fertilizante organo-mineral, foi incluído em função da sua constituição obtida de extratos naturais e algas, os quais podem conferir efeitos variados dentro da planta, desde hormonal até nutricional. É caracterizado como uma mistura formulada de nitrogênio (5%) + matéria orgânica (25%), L- $\alpha$  aminoácidos livres (6%), extrato de algas *Ascophyllum nodosum*, polissacarídeos, micronutrientes (0,72%). Anteriormente ao experimento foi calibrada a dose mais responsiva de cada produto. Para tiametoxam (TMX) e Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), a dose utilizada foi de 200 mL/100 kg de sementes, enquanto que para ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) foi de 4g/100 kg de sementes. O experimento foi conduzido em duas temperaturas distintas, 17°C e 25°C.

O tratamento com os produtos foi realizado diretamente nas sementes com uma válvula pressurizada, 24 horas anterior à semeadura. Pesaram-se 15 gramas de sementes de cada cultivar, que foram tratadas com 0,7 mL de água e duas gotas de azul de metileno, a qual teve a finalidade de visualizar melhor a uniformidade da pulverização. A vazão do tratamento correspondeu a 4,6 litros/100 kg de sementes.

Após o tratamento com os produtos, seus efeitos foram avaliados através do teste de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz e germinação de sementes de menor qualidade obtidas através do envelhecimento artificial.

Para o teste de germinação, as sementes foram semeadas em rolo de papel filtro tipo “germitest”, umedecidos com água destilada com quantidade de solução equivalente a 2,5 vezes o peso seco do papel. Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos para a manutenção da umidade. A germinação foi registrada a cada 96 horas durante 14 dias, sendo consideradas germinadas aquelas sementes cuja radícula e coleótilo alcançaram dois centímetros de comprimento. Nas duas temperaturas, o início das avaliações ocorreu aos seis dias após a semeadura (6 DAS). Foi considerada plântula normal aquela que possuía radícula, mesocótilo e coleótilo de acordo com as especificações nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Para avaliar o comprimento da raiz e parte aérea das plântulas foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes, semeadas sobre uma linha traçada no terço superior do papel substrato. As sementes permaneceram por 14 dias em BOD, sendo avaliado a cada 96 horas o comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas normais, com auxílio de uma régua graduada em milímetros. Iniciou-se a mensuração quando se constatou 50% das sementes germinadas. Para temperatura de 17°C, as avaliações iniciaram-se aos 10 DAS e para a temperatura de 25°C, aos 6 DAS. Os valores foram obtidos através da soma das medidas de cada repetição, dividida pelo número de plântulas.

De modo complementar, avaliou-se o efeito dos produtos em sementes de menor nível de qualidade, das quatro cultivares anteriormente estudadas. Estas sementes foram obtidas a partir dos lotes originais envelhecidos artificialmente sob as condições indicadas para o teste de envelhecimento acelerado, ou seja, em caixas plásticas (gerbox adaptada) (ELLIOT, 1982). Foram colocadas 15 gramas de semente de arroz, em uma tela suspensa no interior das caixas, em uma camada única de sementes, evitando o contato com os 40 mL de água destilada contidos no seu interior. As caixas plásticas foram tampadas e mantidas a 42°C por 96 horas. Após o período de envelhecimento, realizou-se o tratamento das respectivas sementes com os produtos submetendo-as ao teste de germinação, utilizando-se quatro repetições de 100 sementes, nas duas temperaturas propostas, sendo realizadas as avaliações ao sete e aos 14 dias após a semeadura (7 e 14 DAS).

A análise estatística foi realizada através do teste de Scott-Knott, com 5% de probabilidade de erro. A variável porcentagem de germinação foi transformado pela equação  $y_t = \sqrt{y + 1}$ .

## Resultados e discussão

O AG<sub>3</sub> foi o produto que mais estimulou o vigor, representado pela primeira contagem, aos seis dias após a semeadura (6 DAS), independentemente da temperatura (Figura 1). Após essa primeira avaliação, a resposta ao uso dos produtos tornou-se dependente da cultivar, nas duas temperaturas avaliadas. O estímulo à germinação no tratamento com AG<sub>3</sub> ocorreu porque enzimas hidrolíticas envolvidas nesse processo são sintetizadas mais rapidamente em resposta a presença desse composto, sendo transferidas para camada de aleurona da semente onde promovem a conversão do amido em açúcar, que é utilizado no crescimento da nova plântula (CHRISPULS & VARNER, 1967; ARAGÃO et al., 2003; TAIZ & ZEIGER, 2006; SCHWECHHEIMER, 2008).

As cultivares Irga 424 e Irga 425, classificadas como sensíveis ao frio e de vigor inicial baixo, não responderam, em um primeiro momento (6 DAS), a nenhum dos produtos utilizados. O tratamento de sementes que promovesse maior crescimento inicial para estas cultivares seria uma boa estratégia de manejo, visto que, genótipos da subespécie *Indica* apresentam menor tolerância ao frio (CRUZ & MILACH, 2004; MERTZ et al., 2009), em especial a cultivar Irga 424 que em ensaio de sensibilidade ao frio, demonstrou uma sobrevivência de apenas 2,5% de plântulas (CRUZ et al., 2010). Na avaliação realizada quatro dias depois (10 DAS) a cultivar Irga 424 já apresentava em torno de 60% de germinação, sendo, no entanto, a única cultivar que não respondeu aos tratamentos em temperatura baixa. A cultivar Irga 425, apesar do menor vigor e germinação ao final dos 14 DAS (24%) entre todas as cultivares testadas, apresentou a maior amplitude de resposta entre as cultivares, chegando a 50% de diferença entre o tratamento testemunha e TMX, 36% para HAF e 42% para AG<sub>3</sub>, ao final do período avaliado. Já foi elucidado que inseticidas da classe dos neonicotinóides, como TMX, podem induzir as defesas da planta através do estímulo a 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, TMX apresente comportamento estável, sem nenhuma interferência sobre a germinação (MACEDO & CASTRO, 2011).

A cultivar Puita Inta CL e o híbrido Avaxi CL apresentaram maior vigor inicial e porcentagem de germinação final, sem nenhum tipo de tratamento. Quando submetidas ao tratamento com os produtos, houve incremento na porcentagem de sementes germinadas da cultivar Puita Inta CL de 18, 22 e 16% para HAF, TMX e AG<sub>3</sub>, respectivamente. Para a cultivar Avaxi CL, apenas TMX e AG<sub>3</sub> apresentaram um incremento de germinação comparado a testemunha, 13 e 11%, respectivamente.

Os resultados obtidos com as cultivares Irga 425 e Puita Inta CL indicaram que as substâncias com efeito de regulador de crescimento são eficientes tanto em cultivares com baixo quanto com alto vigor inicial, em condições de temperatura baixa.

Quando se aumentou a temperatura de germinação (25°C), as diferenças entre os produtos e a testemunha tornaram-se menos acentuadas ou até mesmo inexistentes, a partir dos 10 DAS. Isto demonstra que a utilização desses produtos torna-se eficiente apenas naquelas situações em que a germinação é retardada, como por exemplo por temperaturas baixas no momento da sementeira, e diminui à medida que as condições de estresse são minimizadas.

Nesse cenário, é importante destacar os fatores que levaram a obtenção desse resultado. O processo de germinação envolve três etapas: embebição, ativação metabólica e pós-germinação (MARCOS FILHO, 2005). Neste trabalho, a etapa pós-germinação foi caracterizada com a avaliação de comprimento da parte aérea e raiz (Figura 2). Concordando com relatos da literatura, o AG<sub>3</sub> atuou predominantemente sobre a parte aérea das plântulas, pois as giberelinas promovem 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 (MATSUKURA et al., 1998). A diferença de parte aérea entre os tratamentos chegou a três centímetros na situação mais extrema que foi na cultivar Puita Inta CL, a 17°C. Além disto, em função de estimular o metabolismo de certas enzimas que produzem um desenvolvimento inicial mais rápido, nas primeiras avaliações, tanto a 17°C quanto a 25°C, o AG<sub>3</sub> apresentou um desenvolvimento mais acentuado do sistema radicular em comparação aos demais tratamentos. Porém, à medida que foram realizadas as avaliações, os tratamentos

TMX e HAF demonstraram seu potencial de atuação. Segundo WAHYUNI et al. (2003), o AG<sub>3</sub> não apresenta efeito sobre o sistema radicular em função de promover um excessivo crescimento da parte aérea, independentemente de temperaturas baixas ou altas.

O TMX desenvolveu mais o sistema radicular, na maioria das cultivares, basicamente na temperatura de 17°C. Segundo CATANEO (2008), o TMX acelera o processo germinativo por estimular a atividade da peroxidase, que pode agir tanto no consumo das espécies reativas ao oxigênio (EROs), prevenindo o estresse oxidativo, como na produção das EROs, que estimularia a alongação celular, que no caso, aconteceria na região radicular. O estímulo ao desenvolvimento radicular foi mais pronunciado na cultivar Irga 425, chegando a quase cinco centímetros de diferença. Esse estímulo é desejável no sistema pré-germinado, por exemplo, podendo facilitar o estabelecimento das plantas e diminuir as falhas de fixação das mesmas, ocasionadas por estresses mecânicos como o vento, ainda mais nessa cultivar que até o momento é a única cultivar de arroz irrigado produzida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) recomendada para esse sistema de cultivo.

O efeito sobre o sistema radicular aumenta em importância em função do desenvolvimento das raízes ser mais dependente da temperatura do que a parte aérea (MEDANY et al., 2007). No caso do arroz, a temperatura ótima seria de 30-35°C, enquanto que a crítica seria de 16°C (YOSHIDA, 1981), muito próxima à utilizada no ensaio. No tratamento com HAF, a resposta foi bastante dependente da cultivar utilizada, pois sobre a maioria das cultivares utilizadas, não houve efeito quando da sua utilização. Porém, em alguns casos como Irga 424 e Irga 425, houve uma atuação desse produto tanto no sistema radicular, quanto na parte aérea, produzindo plantas mais uniformes, diferentemente do AG<sub>3</sub>, por exemplo.

Na última parte do estudo, ao avaliar o efeito dos produtos sobre as sementes de menor qualidade (Figura 3), verificou-se que a resposta dos tratamentos TMX e HAF foi potencializada quando comparado com AG<sub>3</sub>, pois o mesmo não apresentou grandes diferenças em relação aos demais produtos e, em alguns casos, apresentou germinação inferior, até mesmo comparado à testemunha (Avaxi CL). Visualmente, foi observada uma grande quantidade de plântulas anormais no tratamento com AG<sub>3</sub>, com excessivo desenvolvimento da parte aérea, sem, no entanto, apresentar crescimento do sistema radicular, na temperatura de 17°C. Na literatura, entretanto, não foi encontradas referências sobre esse efeito em sementes de qualidade inferior. Possivelmente, o envelhecimento forçado atua sobre vários aspectos do metabolismo dessas sementes, os quais podem estar ligados a ativação e/ou resposta ao uso de

AG<sub>3</sub>, como enzimas hidrolíticas, alguma fase da divisão celular, ou a molécula de giberelina, propriamente dita, intrínseca da planta. Ao envelhecer artificialmente as sementes, pode-se induzir alterações nos perfís isoenzimáticos (fosfatase ácida e peroxidase), ocasionando um efeito deteriorativo provocado pela exposição das sementes às condições de estresse, além de reduzir o conteúdo de açúcares (KAPOOR et al., 2011). Como a atividade das giberelinas influencia diretamente a atuação de enzimas e degradação de açúcares, essa pode ser a provável causa da inibição de resposta a utilização de AG<sub>3</sub>.

## **Conclusão**

O ácido giberélico aumenta o vigor das sementes de cultivares de arroz em temperatura ótima (25°C) e temperatura subótima de crescimento (17°C). Tiametoxam e Haf Plus<sup>®</sup>, juntamente com ácido giberélico, influenciam positivamente a germinação final das cultivares de arroz apenas na temperatura de 17°C. Não há efeito dos produtos em cultivares sensíveis ao frio, como Irga 424. A atuação de ácido giberélico concentra-se na parte aérea das plântulas, tiametoxam no sistema radicular enquanto que Haf Plus<sup>®</sup> não apresenta preferência sobre nenhum órgão. Em sementes de menor qualidade, há diminuição da eficiência de ácido giberélico.

## **Referências bibliográficas**

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 390 p.

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

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. 1ªed., São Paulo: Vozes. 2008.

CHRISPEELS; M.J; VARNER, J.E. Hormonal control of enzyme synthesis: on the mode of action of gibberellic acid and abscisin in aleurone layers of barley. **Plant Physiology**, v.42, p. 1008-1016, 1967.

CRUZ, R.P, da.; DUARTE, I.T.L.;CABREIRA, C. Inheritance of rice cold tolerance at the seedling stage. **Science Agricola**, v.67, n.6, p.669-674, 2010.

CRUZ, R, P, da; MILACH, S, C.K. Cold tolerance at the germination stage of rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. **Science Agricola**, v. 61, n. 1, p.1-8, 2004.

ELLIOT, B. Construction of seed box for use in accelerated aging chamber. **AOSA Newsletter**, v.56, n.3, p.61-4, 1982.

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

HOFS, A. et al. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n.1, p.92-97, 2004.

HORII, A.; MCCUE, P.; SHETTY, K. Enhancement of seed vigour following insecticide and phenolic elicitor treatment. **Bioresource Technology**, v.98, p. 623–632, 2007.

KAPOOR, N. et al. Physiological and Biochemical Changes During Seed Deterioration in Aged Seeds of Rice (*Oryza sativa* L.). **American Journal of Plant Physiology**, v.6, p.28-35, 2011.

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

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

MATSUKURA, C. et al. Promotion of leaf sheath growth by gibberellic acid in a dwarf mutant of rice. **Planta**, v 205, n. 2, p. 145-152, 1998.

MEDANY M, A. et al. Prediction of Seed Germination and Seedling Growth of Four Crop Plants as Affected by Root Zone Temperature. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.3, n.6, p. 714-720, 2007.

MERTZ, L.M. et al. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.2, p.254-262, 2009.

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

SOSBAI- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**, 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188p.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.

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.

YADAV, S.K. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.30, p.515-527, 2010.

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

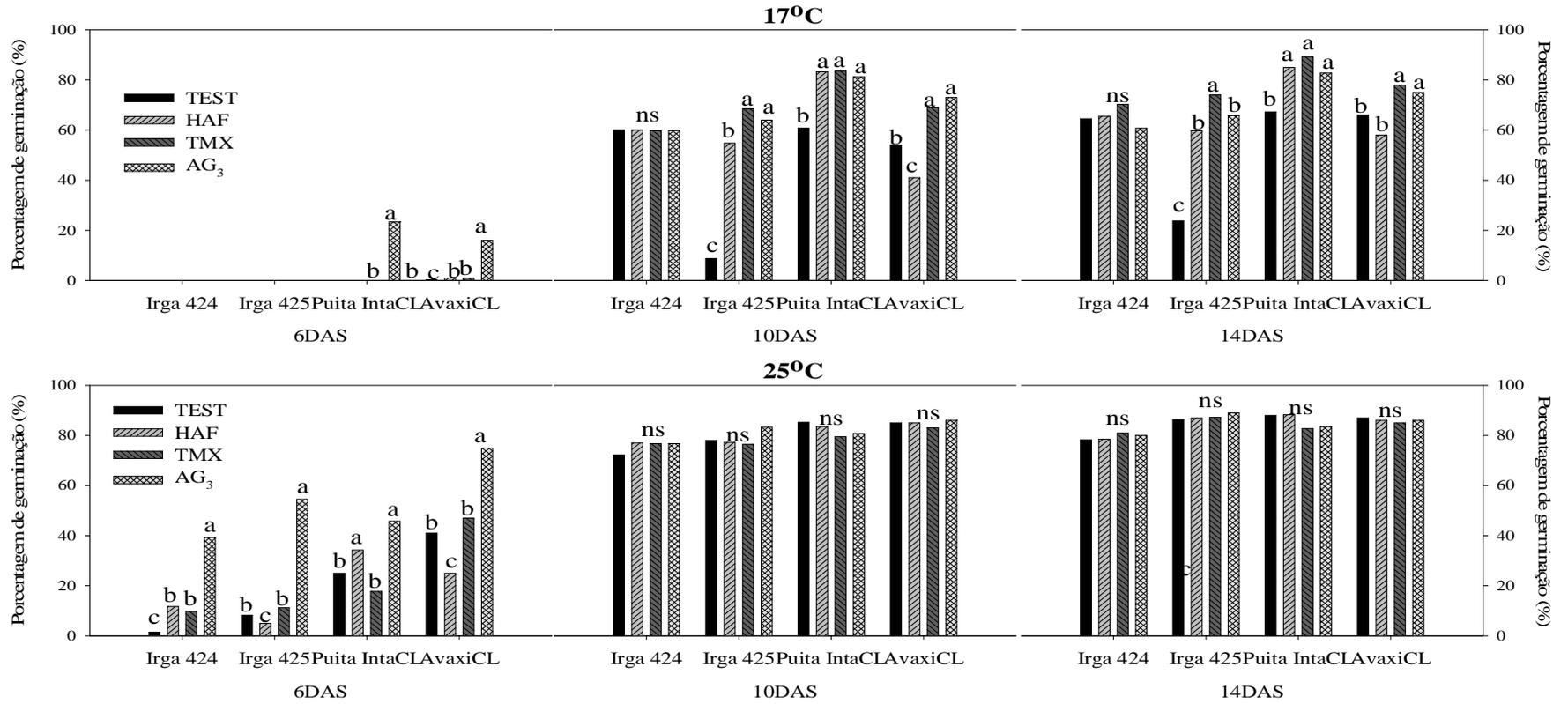


Figura 1- Germinação aos 6, 10 e 14 dias após a semeadura (DAS) de cultivares de arroz submetidas a tratamento de sementes com Haf Plus® (HAF), tiametoxam (TMX), ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e testemunha com água (TEST) em diferentes temperaturas, 17°C e 25°C. Santa Maria, Brasil, 2012.

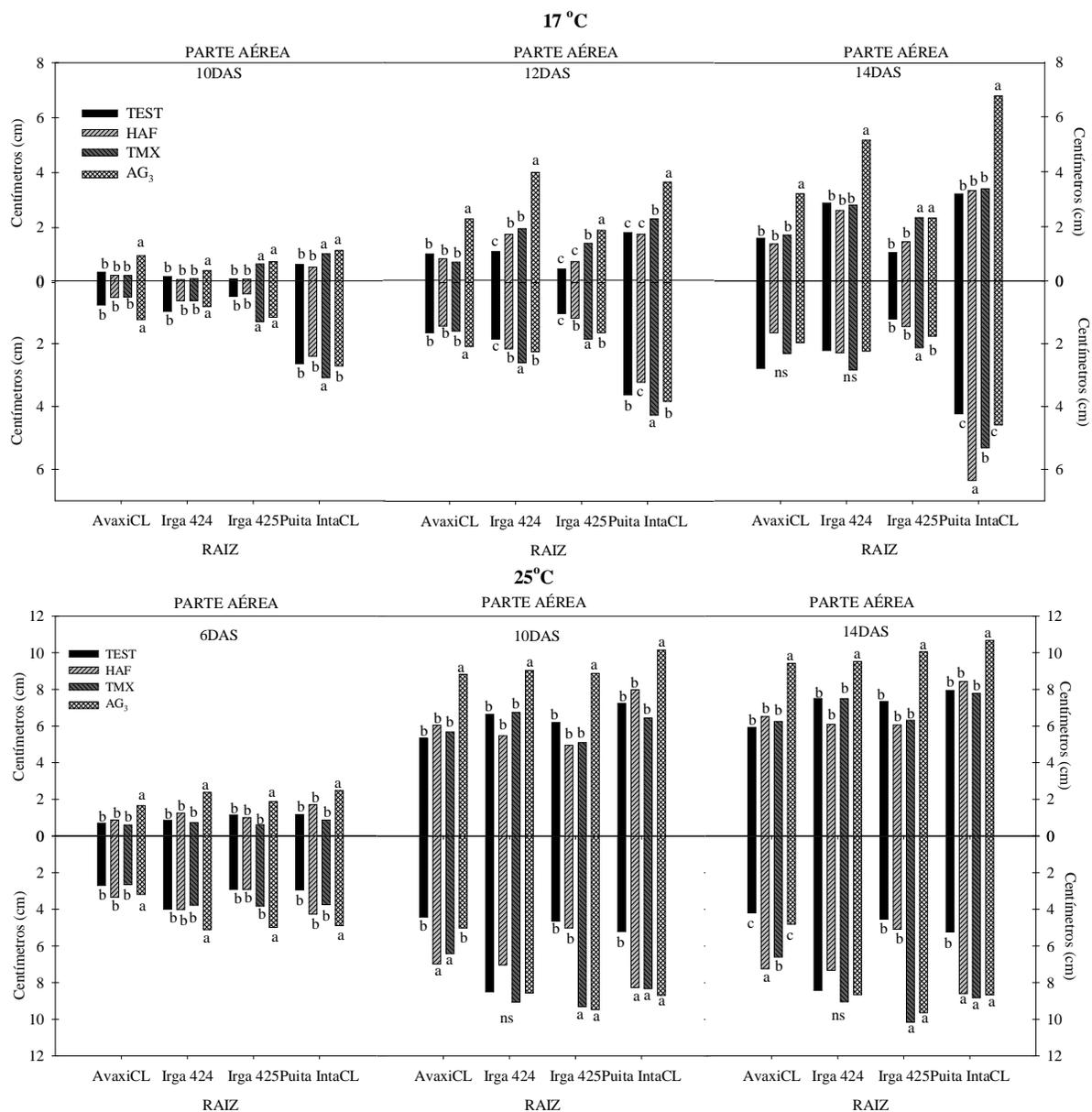


Figura 2- Comprimento da parte aérea e raiz aos 10, 12 e 14 dias após a semeadura (DAS) de cultivares submetidas a tratamento de sementes com Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), tiametoxam (TMX), ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e testemunha com água (TEST) aos 17°C e 25°C. Santa Maria, Brasil, 2012.

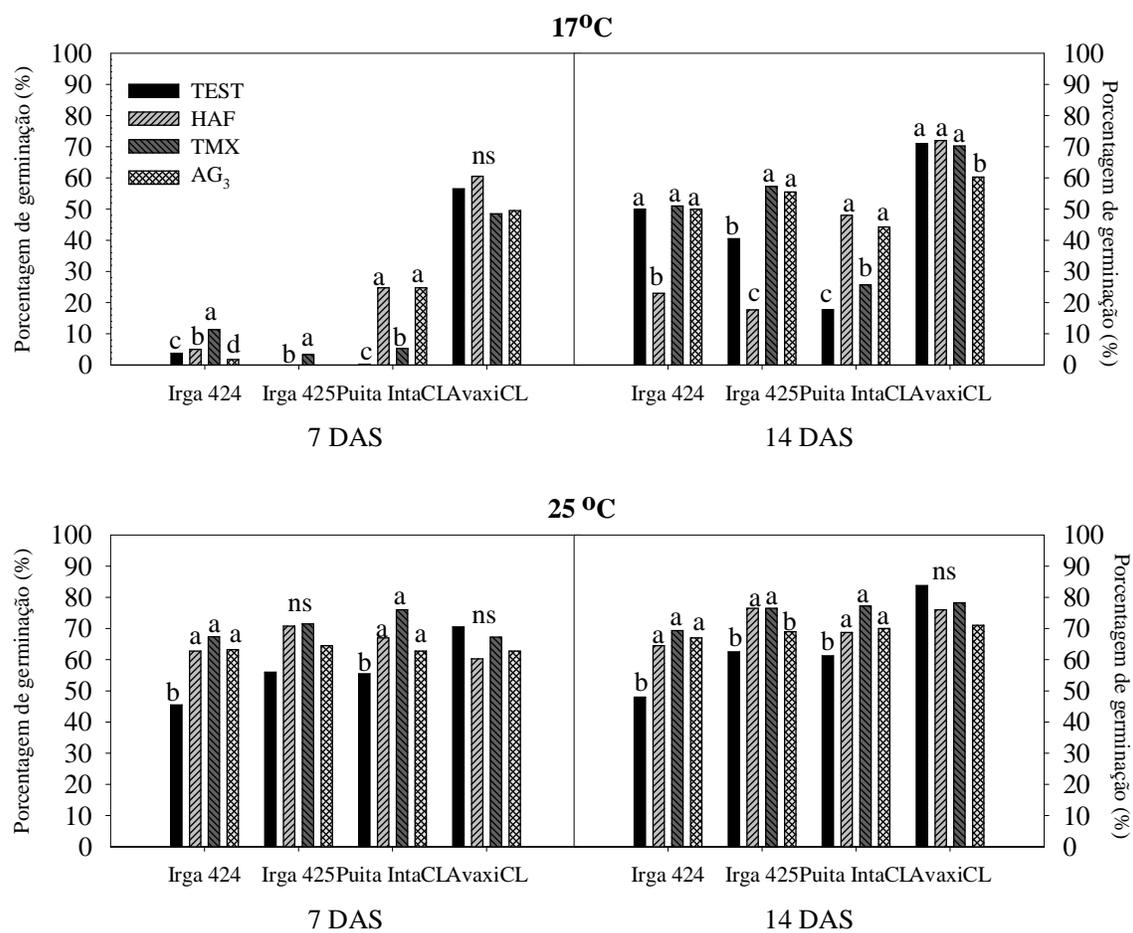


Figura 3 – Germinação de sementes envelhecidas artificialmente, registrada aos 7 e 14 dias após a semeadura (DAS) de cultivares de arroz submetidas a tratamento de sementes com Haf Plus® (HAF), tiametoxam (TMX), ácido gibe rélico (AG<sub>3</sub>) e testemunha com água (TEST), aos 17°C e 25°C. Santa Maria, Brasil, 2012.

## CAPÍTULO 2

### ENHANCEMENT OF ANTIOXIDANT ACTIVITY AND RICE SEED VIGOUR AND FOLLOWING GIBBERELIC ACID, THIAMETHOXAM AND HAF PLUS<sup>®</sup> TREATMENT ON LOW- TEMPERATURE

#### Abstract

Rice is a chilling-sensitive crop, exposure to low-temperature stress during germination and early seedling growth can severely affect stand establishment. Substances with effect of growth regulator can be used to improve the germination and establishment. We investigated the influence these products in two rice cultivars, in low-temperature (17°C) about growth parameters and antioxidant enzymes activity. The products used were gibberellic acid (GA<sub>3</sub>), thiametoxan (Cruiser<sup>®</sup>) and Haf Plus<sup>®</sup> and the cultivars were Irga 424 and Puita Inta CL. The products changed the percentage of germination and shoot and root lengths positively, mainly GA<sub>3</sub> and decreased the peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) concentration and lipid peroxidation, by stimulate the activity of superoxide dismutase and catalase, in shoot. Ascorbate peroxidase activity was higher in control treatment. There were differences between cultivars, with more antioxidant activity in cultivar sensitivity to cold, Irga 424. In root, the products used showed less influence on the antioxidant system of rice.

**Key words:** Chilling. Phytohormone. Insecticide. organo-mineral fertilizer.

#### Resumo

O arroz é uma cultura sensível ao frio e a exposição à baixa temperatura durante a germinação e crescimento inicial de plântulas pode afetar diretamente o estabelecimento da cultura. Substâncias com efeito de reguladores de crescimento podem ser utilizadas para melhorar a germinação e o estabelecimento. Com isso, foi investigado a influência desses produtos em duas cultivares de arroz, em baixa temperatura (17°C) sobre os parâmetros de crescimento e atividade de enzimas antioxidantes. Os produtos utilizados foram o ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>) e Haf Plus<sup>®</sup>. As cultivares de arroz utilizadas foram Irga 424 e Puita Inta CL. Os produtos utilizados aumentaram a porcentagem de germinação e influenciaram positivamente o comprimento da parte aérea e das raízes. Os produtos diminuíram a concentração de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e a peroxidação lipídica por estimular a atividade da superóxido dismutase e a catalase. Atividade da ascorbato peroxidase foi maior no tratamento controle. Houve diferenças entre cultivares, com atividade antioxidante maior em cultivar com sensibilidade ao frio, Irga 424. Em raiz, os produtos utilizados mostraram menor influência sobre o sistema antioxidante de arroz.

**Palavras-chave:** Frio. Fitohormônio. Inseticida. Fertilizante organo-mineral.

## **Introduction**

Abiotic stress in fact is the principal cause of crop failure world wide, dipping average yields for most major crops by more than 50%. In response to these stress factors various genes are upregulated, which can mitigate the effect of stress and lead to adjustment of the cellular milieu and plant tolerance (MAHAJAN & TUTEJA, 2005; GILL & TUTEJA, 2010). One of the important mechanisms by which plants are damaged during adverse environmental conditions is the excess production of reactive oxygen species (ROS), such as superoxide (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), and hydroxyl radicals (OH<sup>·</sup>) (INZÉ & MONTAGU, 1995; MITTLER, 2002). Oxidative stress has been shown to occur in plants exposed to high and low temperatures, particularly in combination with high light intensities and drought. A common feature among the different ROS types is their capacity to cause oxidative damage to proteins, DNA, and lipids (APEL & HIRT, 2004; GILL & TUTEJA, 2010).

Each plant has its unique set of temperature requirements, which are optimum for its proper growth and development. A set of temperature conditions, which are optimum for one plant may be stressful for another plant. Many plants, especially those, which are native to warm habitat, exhibit symptoms of injury when exposed to low non-freezing temperatures (MAHAJAN & TUTEJA, 2005). Various phenotypic symptoms in response to chilling stress include reduced leaf expansion, wilting, chlorosis (yellowing of leaves) and may lead to necrosis (death of tissue). To rice, the critical minimum temperature for shoot elongation ranges from 7° to 16°C and that for root elongation from 12° to 16°C (YOSHIDA, 1981). In Brazil the beginning of the sowing of rice should occur when of soil temperature was 17°C (SOSBAI, 2010) from 01 of september. In this period, temperature of soil is low, can cause delay in germination and emergence, can reach 32 days between the sowing and emergence compared to 8 days in periods of favorable temperature (MARIOT et al., 2009).

The major malicious effect of freezing is that it induces severe membrane damage (MORSY et al., 2005). This damage is largely due to the acute dehydration associated with freezing. Membrane lipids are primarily composed of two kinds of fatty acids unsaturated as well as saturated fatty acids. Unsaturated fatty acids have one or more double bonds between two carbon atoms ( $-\text{CH} = \text{CH}-$ ) whereas saturated fatty acids are fully saturated with hydrogen atoms ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ ). Chilling sensitive plants usually have a higher proportion of saturated fatty acids and, therefore, a higher transition temperature (MAHAJAN & TUTEJA, 2005).

In plants ROS are continuously produced as byproducts of various metabolic pathways localized in different cellular compartments. Under physiological steady state conditions these molecules are scavenged by different antioxidative defense components that are often confined to particular compartments. The equilibrium between production and scavenging of ROS may be perturbed by a number of adverse environmental factors. As a result of these disturbances, intracellular levels of ROS may rapidly rise (GILL & TUTEJA, 2010).

Enzymatic ROS scavenging mechanisms in plants include superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), glutathione peroxidase (GPX), and catalase (CAT). SODs act as the first line of defense against ROS, dismutating superoxide to  $\text{H}_2\text{O}_2$ . APX, GPX, and CAT subsequently detoxify  $\text{H}_2\text{O}_2$  (MITTLER, 2002; APEL & HIRT, 2004; GILL & TUTEJA, 2010).

Rice is a chilling-sensitive crop, exposure to low-temperature stress during germination and early seedling growth can severely affect stand establishment. Thus,

mechanisms that improve low-temperature stress tolerance during germination and early seedling growth are of immense interest to rice producers. Many researchers have reported improvements in seed germination rate and shoot emergence with the use of substances with effect of growth regulator, particularly in weak or damaged seeds and under adverse conditions, such as temperature extremes or drought that can results in a "stand" more uniform, vigorous and more productive, thus acting on germination (CATANEO et al., 2010). For example, gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) can work as a buffer to maintain good germination along with a healthy stand establishment for rice (YAN et al., 2004) and the treatment of lettuce's seed with GA<sub>3</sub> alleviated the adverse effects of drought because this phytohormone can reduce the lipid peroxidation because induce an increase in activity of enzymes antioxidants, such as catalase (ABDEL-KADER, 2001). Thiamethoxam is a novel broad-spectrum neonicotinoid insecticide. Although many reports detail its insecticidal, plant-protecting properties, there are minimal reports concerning the effect on seed germination activities which can be key control points of seedling vigour. Its mechanism of action is poorly understood in plants, has been documented over its stimulus on the activity of enzymes of the antioxidant system (HORII et al., 2007; CATANEO et al., 2010; MACEDO & CASTRO, 2011). Other products to seed treatments with composition organic (polysaccharides, glycoproteins, peptides, fatty acids, amino acids and other) essential to growth and development of plants may have the potential to increase seed vigour by changing the nitrogen metabolism.

In this work, the objective was investigate the effect of s on seedling substances with effect of growth regulator vigour for two rice cultivars in stress condition (chilling). Comparative effects of substances with effect of growth regulator were investigated on growth parameters, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level, lipid peroxidation levels and antioxidant enzyme activities.

## **Materials and methods**

### *Plant material, seed treatment and growth conditions*

This research was carried out in Santa Maria, Brazil , in 2010, using camera incubation, type Biochemical Oxygen Demand (BOD), equipped with a microprocessor based digital

timer to thermoperiod and photoperiod, forced air circulation in the vertical direction and accuracy of temperature  $\pm 0.3$  °C.

The experiment was conducted in two-factor scheme with four repetitions (2x4). The factor A was composed of seeds of two rice cultivars, Irga 424 and Puita Inta CL. Factor B was formed by treating the seeds with gibberellic acid, thiamethoxam, Haf Plus<sup>®</sup> and a control with water. The gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) in form, was chosen because it is considered the hormone of germination; thiamethoxam (Cruiser<sup>®</sup>) is an insecticide of the neonicotinoid class of work and was included in the reports of experts and researchers in recent years rooting effect, especially in environmental stress condition; Haf Plus<sup>®</sup>, an organo-mineral fertilizer was included depending on their constitution obtained from algae and natural extracts, which can provide various effects in the plant, provided to nutritional hormone. It is characterized as a formulated mixture of nitrogen (5%) + organic matter (25%), L- $\alpha$  amino acids (6%), seaweed extract *Ascophyllum nodosum*, polysaccharides, micronutrients (0.72%). The experiment was conducted at temperature of 17°C.

Treatment with the products was performed directly on the seeds with a pressurized valve, 24 hours before to sowing. Were weighed 15 g of seeds of each cultivar, which were treated with 0.7 mL of water and two drops of methylene blue, which was designed to better visualize the uniformity of the spray. The flow of treatment corresponded to 4.6 litres/100 kg of seeds.

#### *Growth parameters*

Plant growth was quantified by percentage of germination and measuring of shoot and root lengths. To germination, four replicates of 100 seeds from each treatment were distributed on two sheets of blotter paper moistened with water equivalent to 2.5 times the paper weight. Seedling evaluations were performed seven and 14 days after sowing (DAS), according to the criteria established in the Brazilian Rules for Seed Testing (BRASIL, 2009). Results were expressed as mean percentage of normal seedlings.

To measure the shoot length and root length, four replicates of 10 seed were sowing on a line drawn in the upper third of the paper. The length of the seedlings was measured with a millimeter ruler to 10 and 14 DAS. The values were obtained by adding the measurements of each repetition, dividing them by the number of seedlings.

The seedlings from the germination test were separated into roots and shoots and frozen to carry out the biochemical tests.

#### *Determination of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Content*

Hydrogen peroxide content in shoot and roots of seedlings treated with the products and control treatment was determined according to LORETO & VELIKOVA (2001). The tissues (0.05 g) were homogenized in an ice bath with 1.5 mL of 0.1% (w/v) trichloroacetic acid (TCA). Tubes were vortexed for 20 seconds, and after the homogenate was centrifuged at 12,000g for 15 min and 0.5 mL of the supernatant was added to 500  $\mu$ L of 10 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0) and 0.5 mL of 1 M KI. The absorbance of the supernatant was measured at 390 nm. The content of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was calculated by comparison with a standard calibration curve previously made by using different concentrations of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

#### *Lipid peroxidation*

The level of lipid peroxidation was followed by measuring malondialdehyde (MDA) accumulation according to EL-MOSAHATY et al., (1993). The MDA content was determined by the TBA reaction. Briefly, the samples (0.1g) were homogenized with 1.5 mL of 0.2 M citrate-phosphate buffer (pH 6.5) containing 0.5% Triton X-100. Tubes were vortexed for 20 seconds. The homogenate was centrifuged at 20,000g for 15 min. One millilitre of the supernatant fraction was added to an equal volume of 20% TCA containing 0.5% (w/v) TBA. Tubes were vortexed for 20 seconds, placed in a 95 °C water bath for 40 min, and then immediately cooled on ice for 15 min. Samples were centrifuged at 10,000g for 15 min. The absorbance “532” of supernatant was measured with a double-beam spectrophotometer and this value subtracted from the nonspecific absorbance “600” reading. The MDA concentrations for samples were calculated and the values were expressed in nmol de MDA/mg ptn.

#### *Superoxide dismutase (SOD) assay*

The activity of SOD was assayed according to Mc CORD & FRIDOVICH (1969). About 0.06 g of rice seedlings were homogenized in 1.2 mL of buffer containing TFNa (50 mM) (pH 7.8), EDTA (1 mM) and PVP (2%) (w/v). Tubes were vortexed for 20 seconds and, after, centrifuged at 13,000 g for 20 min at 4°C, and the supernatant was used for assays. The assay mixture consisted of a total volume of 1 mL, containing glycine buffer (pH 10.5), 17  $\mu$ L epinephrine (60 mM) and enzyme material. Epinephrine was the last added component.

Adrenochrome formation time interval of 10 seconds between readings up to 2 min was spectrophotometrically recorded at 480 nm.

#### *Catalase (CAT) assay*

Catalase activity were determined according to AEBI (1984). The samples were homogenized in 1.2 mL of buffer containing TFNa (50 mM) (pH 7.8), EDTA (1 mM) and PVP (2%) (w/v). Tubes were vortexed for 20 seconds and, after, centrifuged at 13,000 g for 20 min at 4°C, and the supernatant was used for assays. The disappearance of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was monitored by measuring the decrease in absorbance at 240 nm in a reaction mixture with a final volume of 2 mL containing 500 µL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (60 mM) in 1470 µL KPO<sub>4</sub> (25 mM) buffer (pH 7.0) and 30 µL of the extract.

#### *Ascorbate peroxidase (APX) assay*

The samples were homogenized in 1.2 mL of buffer containing TFNa (50 mM) (pH 7.8), EDTA (1 mM) and PVP (2%) (w/v). Tubes were vortexed for 20 seconds and, after, centrifuged at 13,000 g for 20 min at 4°C and the supernatant used for enzyme activity according to the modified method of ZHU et al. (2004). The reaction mixture in a total volume of 2 mL consisted of 1733 µL sodium phosphate buffer (25mM) (pH 7.0), EDTA (1.0 mM), ascorbate (1.0 M), 67 µL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (60mM) and 100 µL extract. The H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-dependent oxidation of ascorbate was followed by a decrease in absorbance at 240 nm.

#### *Protein determination*

In all the enzyme preparations, protein was measured by the Coomassie Blue method according to BRADFORD (1976) using BSA as standard.

#### *Statistical analysis*

Statistical analysis was performed using the Scott-Knott test at 5% probability of error. The variable germination percentage (7 and 14DAS) was transformed by the equation  $yt = \sqrt{y + 1}$ .

## **Results and discussion**

For all variables analyzed in the study there was interaction between the cultivars and products used, as showed in Table 1.

In stage of germination, the symptoms of chilling injury are the most commonly observed delay and decrease in germination percentage (MERTZ et al., 2009). Temperature has a profound influence on germination by affecting the activation stage and postgermination growth. The effects of temperature on germination can be examined in three aspects: temperature, time, and germination percentage. In our study, when seeds rice were treated with growth regulators, there was an increase in the percentage of germination when compared to the control treatment (distilled water) in Puita Inta CL cultivar (Figure 1A). For this cultivar, GA<sub>3</sub> changed the germination rate, recording 23% of seedlings in the first evaluation, the seven days after sowing (DAS), while the other treatments showed no seed germinated. However, from 14 DAS, all products were effective in stimulating germination, with a difference of 20% for the control treatment. For the Irga 424 cultivar, was not registered any significant difference between treatments.

The shoot and root lengths were quantified to identify the organ of action of products (Figura 1B e C). For GA<sub>3</sub> there is a preference for shoot growth over the root system, in both cultivars. This is because the GA<sub>3</sub> acts on the elongation of the mesocotyl, mainly cultivars of Indica subspecies, reaching a 10 mm difference between the seedlings treated with GA<sub>3</sub> and control seedling (TAKAHASHI, 1972), an effect due to increased plasticity of the cell wall of the cell then by hydrolysis of sugar, reducing the water potential in the cell, resulting in water ingress and seedling elongation, especially in the region of the mesocotyl (MATSUKURA et al., 1998). For thiamethoxam (TMX) was predominant growth of the root system to the 14DAS, for Puita Inta CL. TMX effect on the root system of plants has been reported by several authors (TAVARES et al., 2007, ALMEIDA et al. 2011; LAUXEN et al., 2010), but the reasons that lead to this stimulus has not been elucidated. In the field, this effect was attributed to greater absorption of water and nutrients (TAVARES et al., 2007). There were no significant differences to Irga 424 while for Puita Inta CL, the effect of TMX on the root system was accompanied by Haf Plus® (HAF).

The perturbations to the germination process under stress conditions lead to an excessive production of reactive oxygen species (ROS) in the absence of effective protection mechanisms (enzymatic or not) metabolic changes occur that result in oxidative damage

(PAN et al., 2006). Low temperature causes production of  $H_2O_2$  as a result of photochemical reaction during the cold, which may be the cause of death of seedling due to lipid peroxidation at cellular level, leading to production of ROS (KUMAR et al., 2010). In present study, the control treatment showed highest increase of  $H_2O_2$  under chilling stress as compared to treatments with growth regulators, the 7 DAS and 14 DAS, in the shoots (Figure 2A), indicating that the use of products acts to mitigate the abiotic stresses, in this case the cold, avoiding the formation of ROS and their deleterious effects on the constituents of the cell.

However, this effect was only observed in the seedlings shoots, because the production of  $H_2O_2$  in the root varied greatly between treatments (Figure 2B). The 7DAS and 14DAS showed significant differences only in the Puita Inta CL cultivar, with increased production of  $H_2O_2$  in the roots of plants that were treated with  $GA_3$ . The gibberellins are effective in stimulating the elongation of the mesocotyl, giving a rapid development of the seedling shoot (YAMAGUCHI, 2008; DAI & XU, 2010). In first moment, this effect can be reflected in stimulating root development, since the presence of gibberellic acid acts on the activity of cytokins, hormone responsible for root growth (LEITE et al. 2003; GAZZONI, 2009). However, when shoot growth becomes excessive, the seedling moves its metabolites for nutrition of the organ at the expense of root development. This can lead to an inhibition of root growth. Apparently, this inhibition is responsible for the increase of  $H_2O_2$  in the root.

ROS resulting from severe stress can cause lipid peroxidation damage to cell membranes, protein degradation of double-stranded breaks in DNA, and also result in cell death (APEL & HIRT, 2004). Lipid peroxidation is the result of the presence of  $H_2O_2$  from oxidative damage and intensity may vary depending on how fast is the oxidative protection (MUNNS & TESTER, 2008). Already it is known that free radical-induced peroxidation of lipid membranes is a reflection of stress-induced damage at the cellular level (JAIN et al., 2001). Therefore, the level of MDA, produced during peroxidation of membrane lipids, is often used as an indicator of oxidative damage (MORSY et al., 2007). In this study, the high concentration of  $H_2O_2$  in the control treatment was reflected on lipid peroxidation of the shoots at 7 and 14DAS in the two cultivars used (Figure 3A). For the root, however, TMX and HAF had a effect negative, showing high lipid peroxidation in both cultivars used, at 7 and 14DAS (Figure 3B). Although positively influence the germination of rice seedlings, depending on the dose used, TMX may to show symptoms of toxicity (ALMEIDA et al., 2011) and of according with CAVUŞOĞLU et al. (2011) with the increase of dose TMX can

cause changes in mitosis, chromosomal aberrations, reducing the mitotic index and increased lipid peroxidation, resulting in a decrease in germination of *Allium cepa* L. Still, by the same author no study so far has been undertaken to examine the effect of thiamethoxam and other pesticides on lipid peroxidation in plant tissues, but various studies on animals have demonstrated that pesticides have significant effect on lipid peroxidation.

To mitigate high production of ROS, plants have well developed antioxidant defense system operating at cellular level. The extent of oxidative stress in a cell is determined by the amounts of superoxide,  $H_2O_2$ , and hydroxyl radicals. Therefore, the balance of superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), and catalase (CAT) activities will be crucial for suppressing toxic ROS levels in a cell. Changing the balance of scavenging enzymes will induce compensatory mechanisms. SODs act as the first line of defense against ROS, dismutating superoxide to  $H_2O_2$ . APX and CAT subsequently detoxify  $H_2O_2$ . In contrast to CAT, APX requires an ascorbate and GSH regeneration system, the ascorbate-glutathione cycle. Detoxifying  $H_2O_2$  to  $H_2O$  by APX occurs by oxidation of ascorbate to MDA (APEL & HIRT, 2004).

Figures 4,5 and 6 showed the activity of antioxidant defense system, represented by APX, CAT, and SOD. APX activity showed an increase for most treatments, especially for the control treatment (Figure 4A and B). It is common for stressed plant reacts this way because the  $H_2O_2$  produced in greater quantity in this treatment acts as a second messenger, inside the cell (FORMAN et al., 2010) which leads to increased production of antioxidant enzymes, APX in this case, an attempt to detoxify the cell. The treatment with  $GA_3$  calls attention, which showed the lower activity of this enzyme in the shoots, probably because of this growth regulator to minimize the stress caused by cold, by activating hydrolytic enzymes such as  $\alpha$ -amylase, which stimulating the germination and shoot growth, even in stress conditions, such as cold. At root, the highest activity of APX was again dominant in the control treatment.

In contrast to APX, products showed greater activity on the CAT enzyme activity in shoot and root of the cultivars Irga 424 (Figure 5A and B). For Puita Inta CL, the highest activity of CAT was quantified in the control treatment. There is a difference between the sensitivity of cold to cultivars rice. According with Cruz & Milach (2004) cultivars of Indica subspecies are less tolerant to this type of abiotic stress. Within this subspecies, are also recorded large differences (MORSY et al., 2007). The Irga 424 cultivar is classified as sensitive to cold and low initial vigour (CRUZ et al., 2010), while Puita Inta CL is classified

as a vigour initial high and moderately tolerant to cold. These genetic characteristics led to the result obtained in this work. How is their high sensitivity to cold, Irga 424 did not respond to treatment with growth regulators, in contrast to Puita Inta CL in the evaluation of germination. Thus, there was increased production of  $H_2O_2$  and consequently greater stimulus to activation of enzymes for the detoxification that occurred in all treatments. As demonstrated, Puita Inta CL is more responsive to growth regulators, which positively influenced their germination, the consequences of stress were minimized, while that in control treatment, not, resulting in an increased presence of ROS, and consequent increase in enzyme activity antioxidants such as CAT, in shoot and root. At the root, there was a great stimulus of  $GA_3$  in the cultivar Irga 424, to 14DAS, result already documented by DUČIĆ et al. (2003) who found that this growth regulator can increase the activity of CAT and SOD in root of the seedling.

Among the enzymes, SOD activity showed the lowest activity, when compared to others enzymes studied. The activity of this enzyme was dependent of the cultivar and of the organ evaluated. In the shoot (Figure 6A), for the cultivar Irga 424, SOD activity was stimulated mainly in seedlings treated with HAF, while in Puita Inta CL, there was greater activity for  $GA_3$  and TMX, depending on the evaluation. At root (Figure 6B), there was increased activity of  $GA_3$  for Irga 424 cultivar and for Puita Inta CL all products were effective in increasing SOD activity, with lower activity for the control treatment. This result is of extreme importance, because the SOD is the first enzyme in the line of plant defense, turning the superoxide into  $H_2O_2$ , while APX and CAT detoxify  $H_2O_2$ . Thus, the  $H_2O_2$  formed in response to temperature stress is rapidly converted to  $H_2O_2$ , which are less toxic products from ROS. Adding this fact, the lower presence of  $H_2O_2$  in the treatments with products concluded that products act predominantly on the activity of SOD enzyme, decreasing the production of  $H_2O_2$  and, probably, decreases the participation of the enzymes CAT and APX.

## Conclusion

Gibberellic acid, thiamethoxam and Haf Plus<sup>®</sup> increase the final germination only in cold-tolerant cultivar, Puita Inta CL, while the vigour is only influenced by gibberellic acid in the same variety. The effect of gibberellic acid is on the shoot growth of seedlings, while the

Haf Plus<sup>®</sup> and thiamethoxam is on the root system. The use of products act to mitigate the effects by cold, preventing the formation of ROS (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and lipid peroxidation in shoot, influencing positively the enzyme activity SOD and CAT, mainly in cultivar sensible to cold, Irga 424 and showed less activity in root system of rice seedlings.

## References

ABDEL-KADER, D.Z. Drought and gibberellic acid-dependent oxidative stress: effect on antioxidant defense system in two lettuce cultivars. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.4, n.9, p.1138-1143, 2001.

AEBI, H. Catalase in vitro. **Methods in Enzymology**, v.105, p.121-126, 1984.

ALMEIDA, A, S. et al. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista brasileira de sementes**, v.33, n.3, p. 501-510, 2011.

APEL, K; HIRT, H. Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. **Annual Review Plant Biology**, v.55, p. 373–99, 2004.

BRADFORD, M.M.A. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. **Annal Biochemistry**, v.72, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 390 p.

CAVUŞOĞLU, K. Physiological, Anatomical, Biochemical, and Cytogenetic Effects of Thiamethoxam Treatment on *Allium cepa* (Amaryllidaceae) L. *Environmental Toxicology*, p. 1-9, 2011. [on line] doi: 10.1002/tox.20680.

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.

CRUZ, R.P, da.; DUARTE, I.T.L.; CABREIRA, C. Inheritance of rice cold tolerance at the seedling stage. **Science Agricola**, v.67, n.6, p.669-674, 2010.

CRUZ, R, P, da; MILACH, S, C,K. Cold tolerance at the germination stage of rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 1, 2004.

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.

DUČIĆ, T. et al. Activities of Antioxidant Systems During Germination of *Chenopodium rubrum* Seeds. **Biologia Plantarum**, v.47, n.4, p.527-533, 2003.

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.

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

GAZZONI, D.L. Hormônios vegetais. In: GAZZONI, D.L. **Tiametoxam: Uma revolução na agricultura brasileira**. 1ed., São Paulo: Vozes. 2009.

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.

HORII, P.; MCCUE, K.; SHETTY. Enhancement of seed vigour following insecticide and phenolic elicitor treatment. **Bioresource Technology**, v. 98, p.623–632, 2007.

INZÉ, D.; MONTAGU, M.V. Oxidative stress in plants. **Biotechnology**, v.6, p.153-158, 1995.

JAIN, M. et al. Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Plant Cell Reports**, v.20, p. 463-468, 2001.

LAUXEN, L.R.; VILLELA, F.A.; SOARES, R.C. Desempenho fisiológico de sementes de algodoeiro tratadas com tiametoxam. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.3, p. 061-068, 2010.

LEITE, V.M; ROSOLEM, C.A.; RODRIGUES, J.D. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. **Scientia Agricola**, v.60, n.3, p. 537-541, 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.

KUMAR, M. et al. Effect of exogenous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on antioxidant enzymes of *Brassica juncea* L. seedlings in relation to 24-epibrassinolide under chilling stress. **Indian Journal of Biochemistry & Biophysics**, v. 47, p.378-382, 2010.

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

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.

MAHAJAN,S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. **Biochemistry and Biophysics**, v.444, p.139–158, 2005.

MARIOT, C.H.P. et al. Ensaio bioclimático de arroz irrigado nas regiões da Planície Costeira Externa e Fronteira Oeste do RS – safra 2008/09. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 6., 2009, Porto Alegre, RS. **Anais ...** Available in CD.

MATSUKURA,C. et al. Promotion of leaf sheath growth by gibberellic acid in a dwarf mutant of rice. **Planta**, v 205, n. 2, p. 145-152, 1998.

MERTZ, L.M. et al. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.2, p.254-262, 2009.

MITLLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, v.7,n.9, p. 405-410, 2002.

MORSY, M.R. et al. The OsLti6 genes encoding low molecular weight membrane proteins are differentially expressed in rice cultivars with contrasting sensitivity to low temperature. **Gene**, v.80, p.344-171, 2005.

MORSY, M.R. et al. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in chilling tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v.164, p.157-167, 2007.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review Plant Biology**, v. 59, p. 651-81, 2008.

PAN, Y.; WU, L.J.; YU, Z.L. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). **Plant Growth Regulation**, v.49, p.157-165, 2006.

SOSBAI- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**, 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188p.

TAKAHASHI, K. Interaction between ethylene, abscisic acid and gibberellic acid in elongation of rice mesocotyl. **Planta**, v.109, p. 363-364, 1973.

TAVARES, S. et al. Avaliação dos efeitos fisiológicos de tiametoxam no tratamento de sementes de soja. **Revista de Agricultura**, v.82, n.1, p.47-54, 2007.

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

YAN, W. et al. Effects of gibberellic acid on rice germination and seedling emergence in stress conditions. **Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series**, v.517, p.303-316, 2004.

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus*, L.). **Plant Science**, v. 167, p. 527-533, 2004.

Table 1- Results of analysis of variance (ANOVA) of cultivar (cv.), products and their interaction (cv.× products) for germination, shoot length, root length, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content, lipid peroxidation (MDA), ascorbate oxidase (APX), catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) activities. Santa Maria, Brazil, 2012.

Dependent variable	Organ	Day	Independent variable		
			cultivar	products	C.V. x products
Germination	-	7	0.52*	2.20*	0.40*
	-	14	0.09*	0.11*	0.03*
Length	Shoot	10	0.88*	1.34*	0.10*
		14	15.69*	22.88*	1.56*
	Root	10	11.25*	0.99*	0.36*
		14	31.3*	1.00*	2.06*
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> content	Shoot	7	0.0002*	0.002*	0.001*
		14	0.0004*	0.002*	0.001*
	Root	7	0.0001*	0.00007*	0.00009*
		14	0.0005*	0.00004 <sup>ns</sup>	0.0001*
MDA content	Shoot	7	1.19*	0.27*	0.24*
		14	3.52*	2.63*	2.89*
	Root	7	1.99*	12.37*	3.03*
		14	0.38*	2.49*	0.32*
APX activity	Shoot	7	0.18*	0.26*	0.059*
		14	0.21*	0.19*	0.02*
	Root	7	0.02*	0.57*	0.03*
		14	0.15*	0.15*	0.49*
CAT activity	Shoot	7	1.77*	4.05*	3.6*
		14	0.8*	4.78*	0.92*
	Root	7	3.65*	3.44*	1.17*
		14	1.57*	3.97*	4.76*
SOD activity	Shoot	7	0.0006 <sup>ns</sup>	0.012*	0.013*
		14	0.31*	0.001*	0.08*
	Root	7	4.13*	2.29*	1.91*
		14	0.03*	0.04*	0.012*

Numbers represent F values at 5% level: ns, not significant.\*  $P \leq 0.05$ .

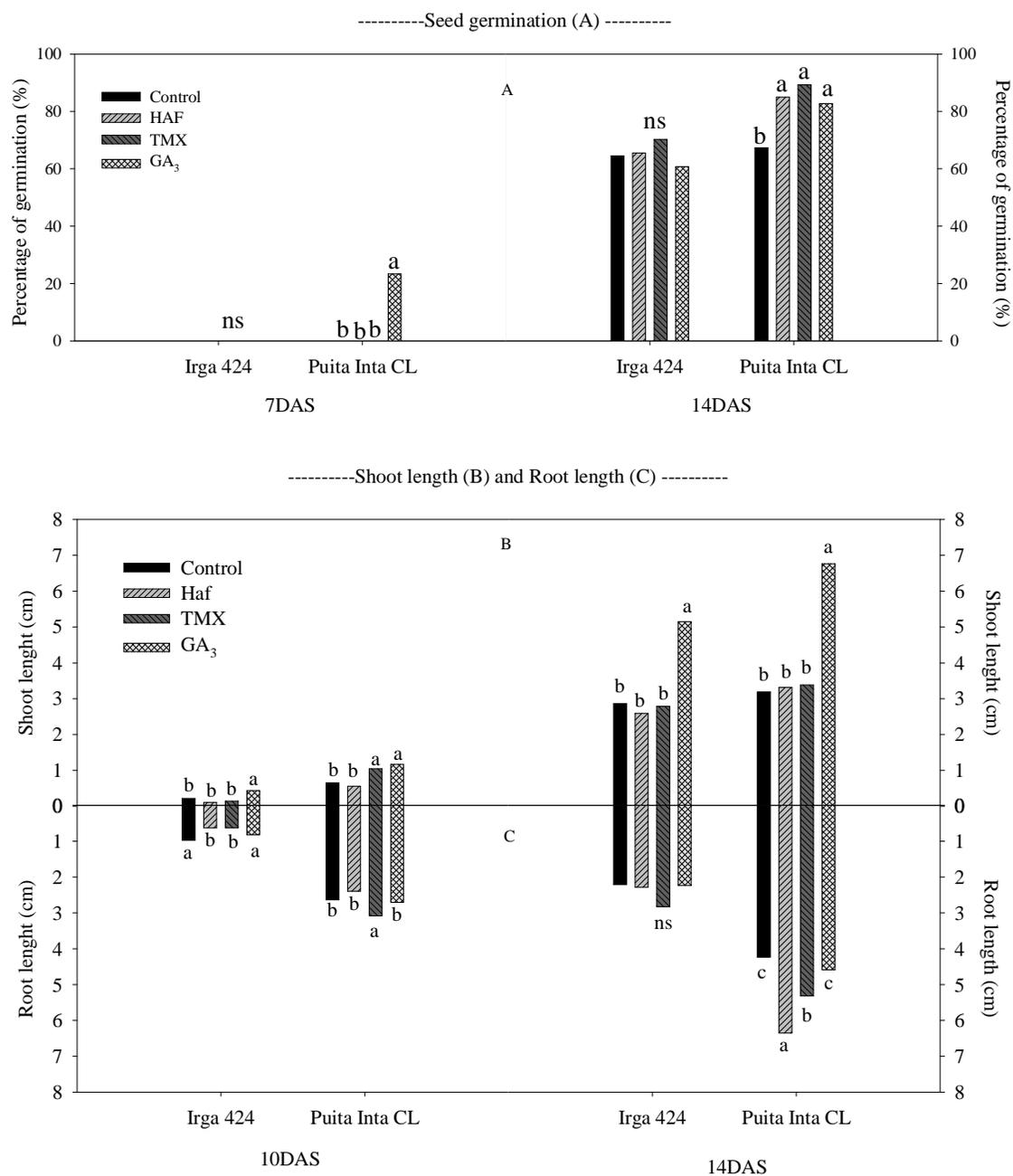


Figure 1- Effect of products, control, Haf Plus<sup>®</sup> (Haf), thiamethoxam (TMX), gibberellic acid (GA<sub>3</sub>), on the percentage germination (A), shoot length (B) and root length (C) (cm) of two rice cultivars (Irga 424 and Puita Inta CL) in low-temperature (17°C registered to 10 and 14 days after sowing (DAS)). Different letters indicate significantly different means between treatments ( $P \leq 0.05$ ). Santa Maria, Brazil, 2012.

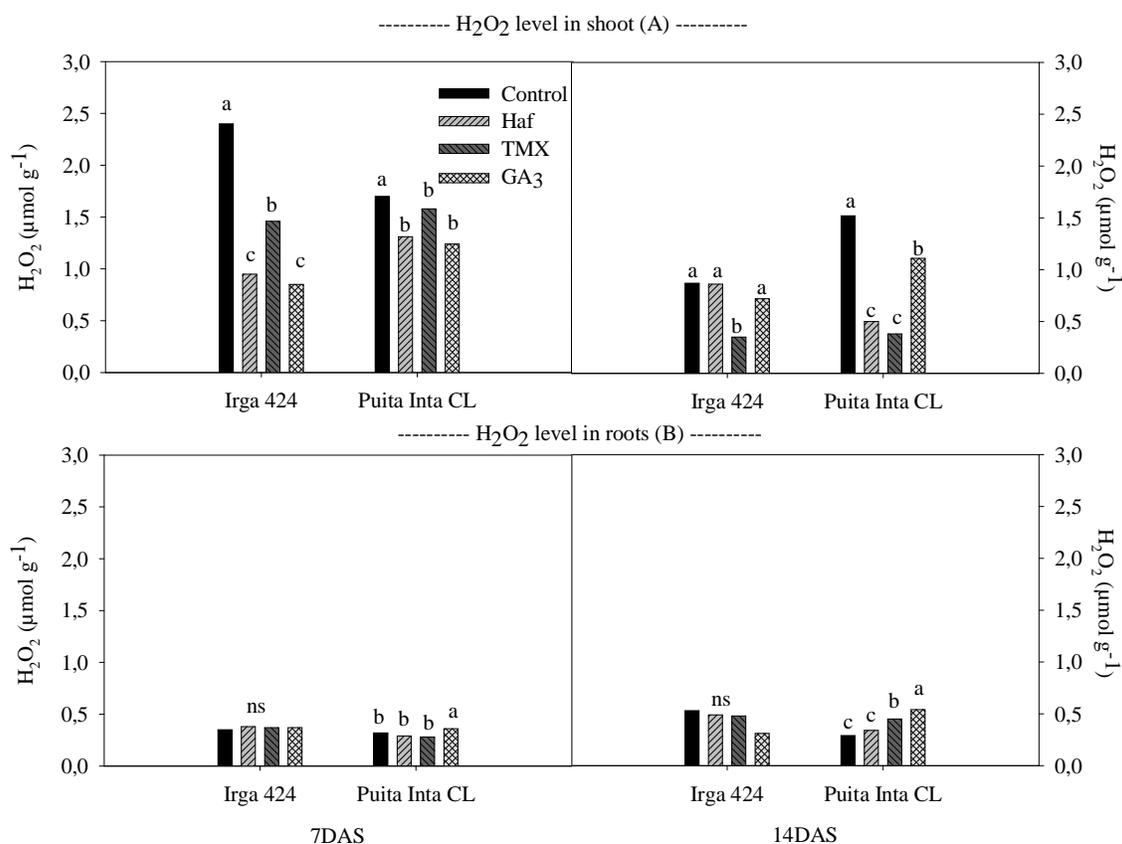


Figure 2- Endogenous content of oxidative products (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in rice seedlings as a result of exposure to different products in stress conditions: control, Haf (Haf Plus<sup>®</sup>), TMX (thiamethoxam), GA<sub>3</sub> (gibberellic acid). A. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level in shoot. B. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level in roots. Different letters indicate significantly different means between treatments (P≤0.05). Santa Maria, Brazil, 2012.

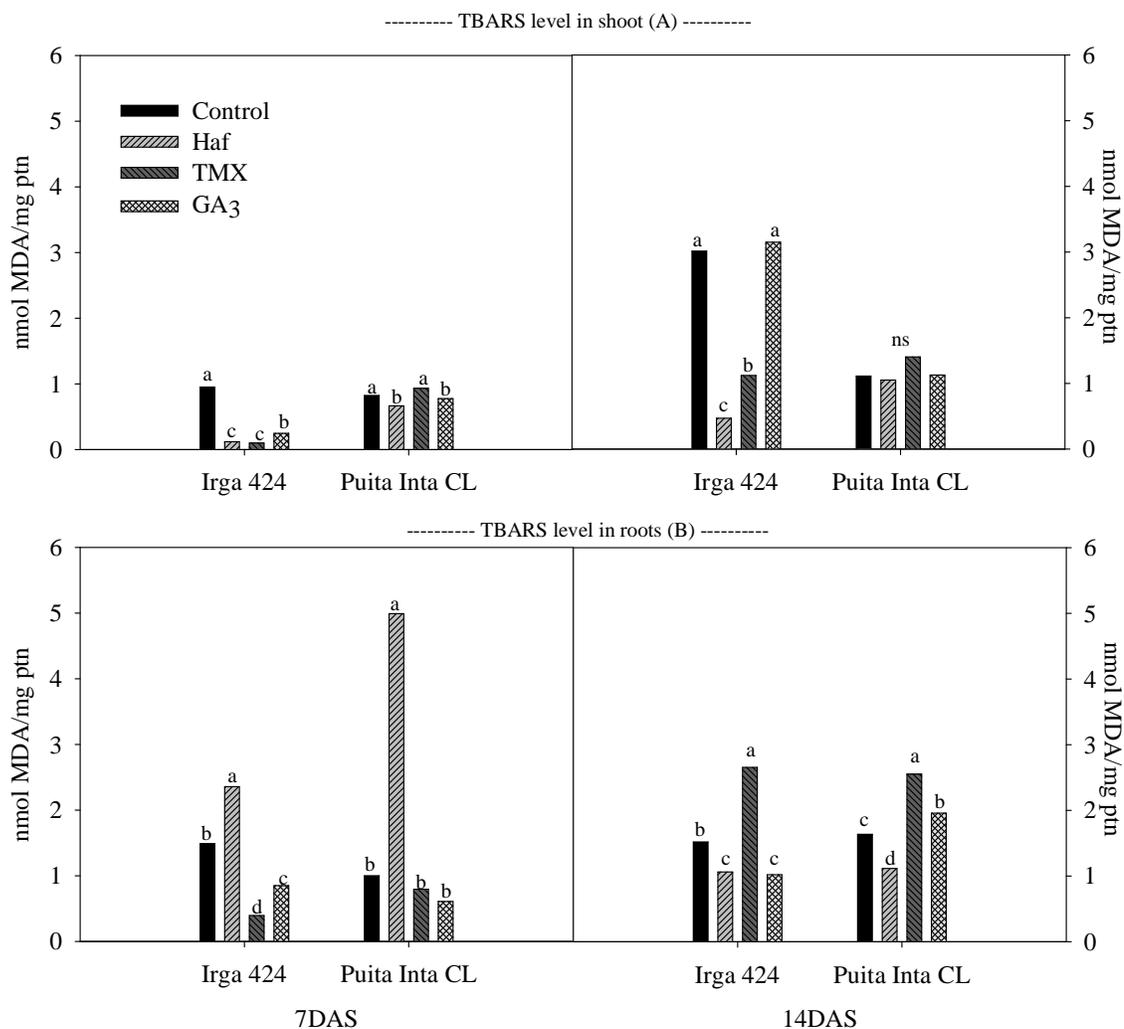


Figure 3- Lipid peroxidation in rice seedlings as a result of exposure to different products in stress conditions: control, Haf (Haf Plus<sup>®</sup>), TMX (thiamethoxam), GA<sub>3</sub> (gibberellic acid). A. TBARS level in shoot. B. TBARS level in roots. Different letters indicate significantly different means between treatments ( $P \leq 0.05$ ). Santa Maria, Brazil, 2012.

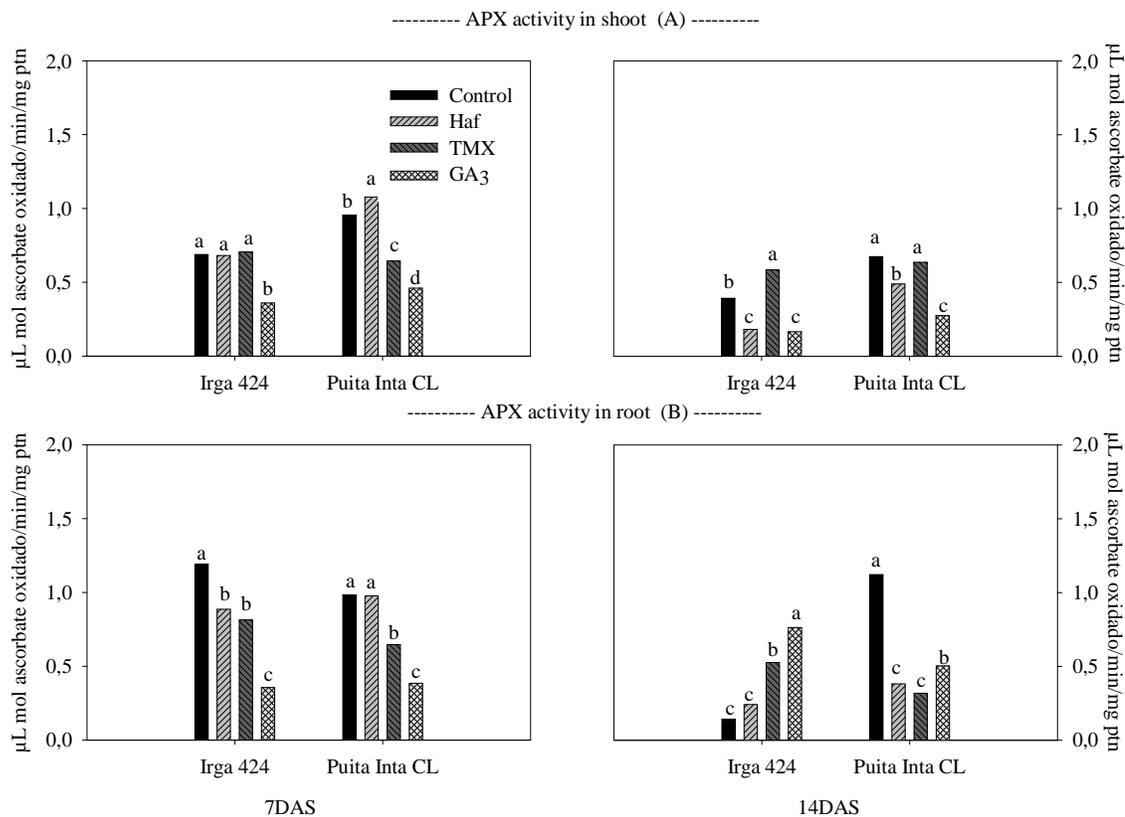


Figure 4- Ascorbate oxidase (APX) activity in shoots (A) and roots (B) of Irga 424 and Puita Inta CL before treatment with products in low-temperature (17°C), registered to 7 and 14 days after sowing (DAS). Control, Haf Plus® (HAF), thiamethoxam (TMX), gibberellic acid (GA<sub>3</sub>). Different letters indicate significantly different means between treatments (P<0.05). Santa Maria, Brazil, 2012.

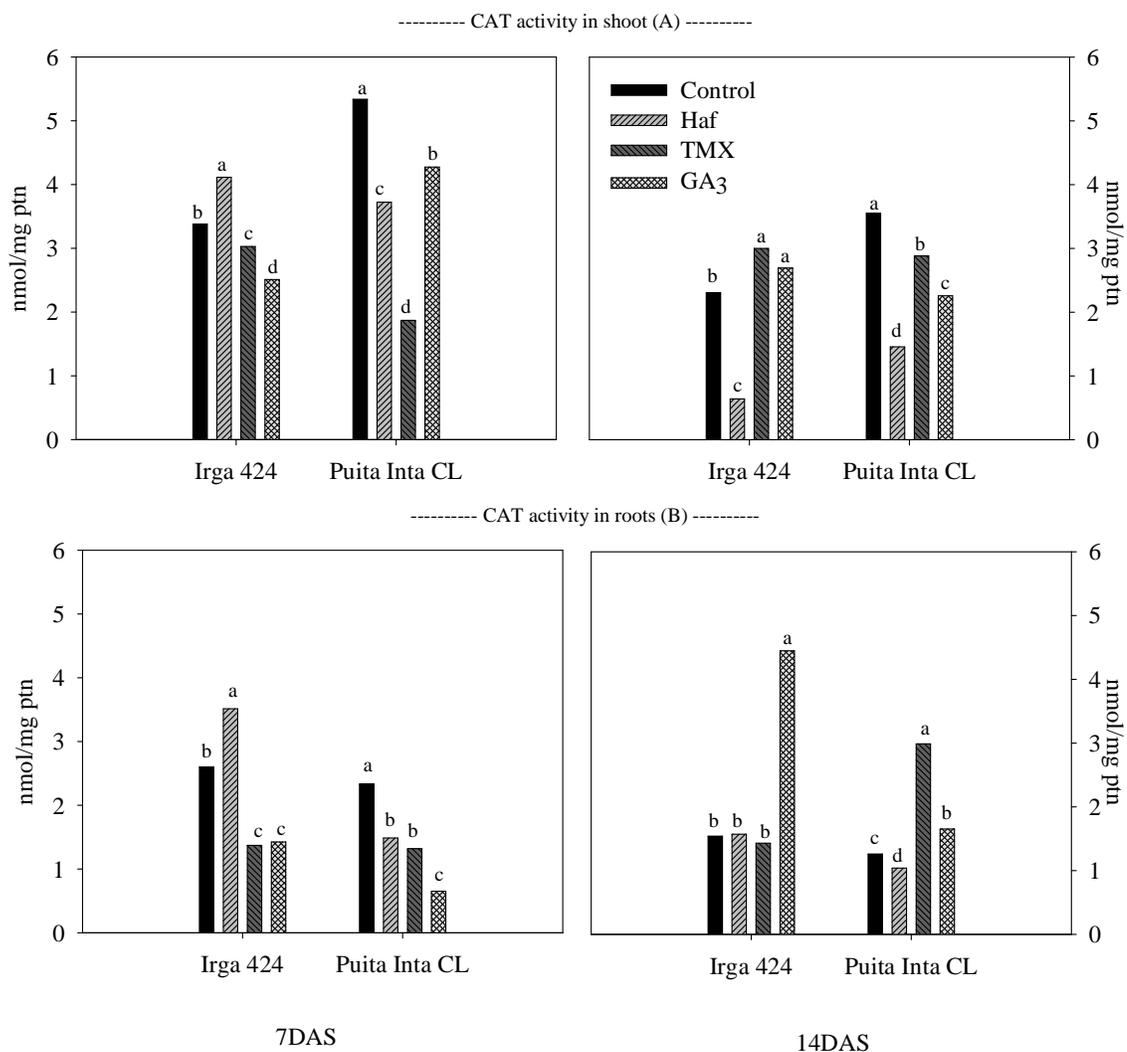


Figure 5- Catalase (CAT) activity in shoots (A) and roots (B) of Irga 424 and Puita Inta CL before treatment with products in low-temperature (17°C). Control, Haf Plus® (Haf), thiamethoxam (TMX), gibberellic acid (GA<sub>3</sub>), registered to 7 and 14 days after sowing (DAS). Different letters indicate significantly different means between treatments ( $P \leq 0.05$ ). Santa Maria, Brazil, 2012.

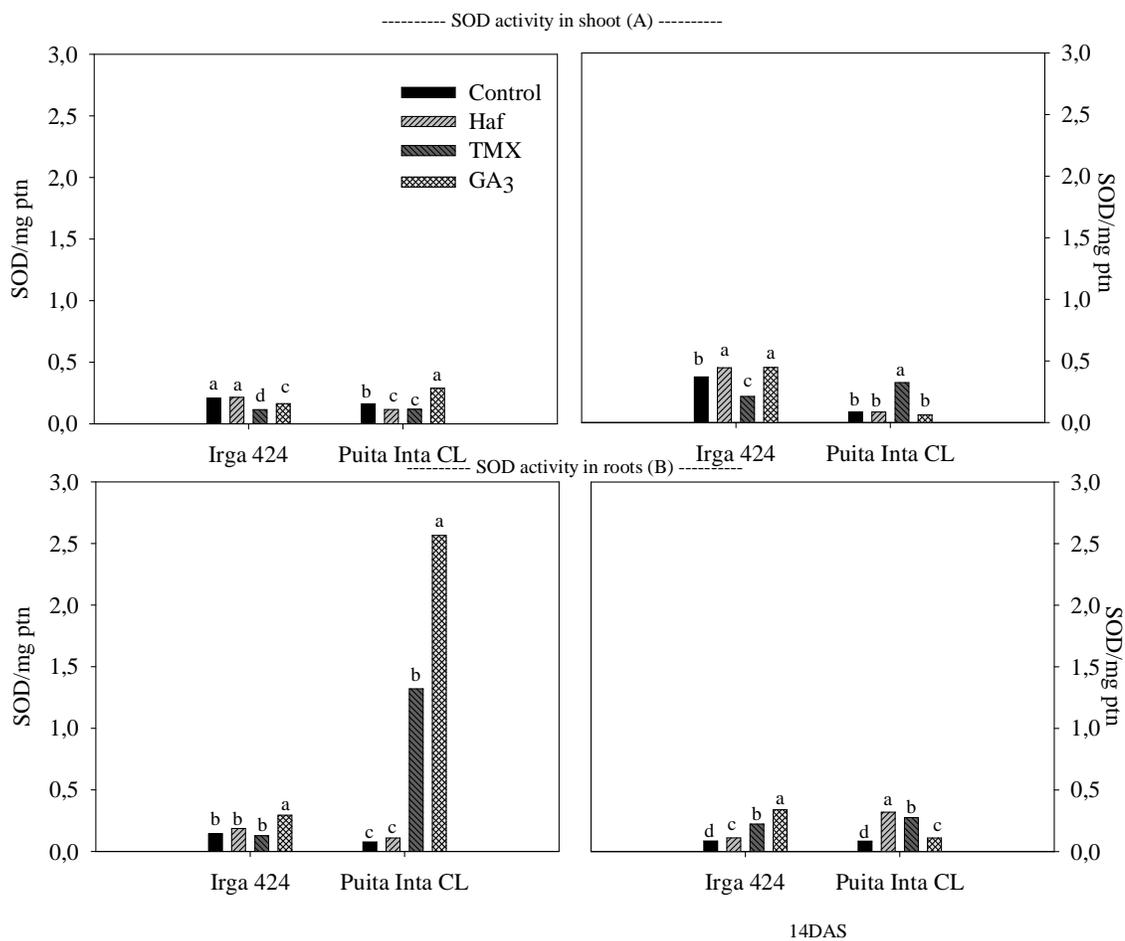


Figure 6- Superoxide dismutase (SOD) activity in shoots (A) and roots (B) of Irga 424 and Puita Inta CL before treatment with products in low-temperature (17°C). Control, Haf Plus® (Haf), thiamethoxam (TMX), gibberellic acid (GA<sub>3</sub>), registered to 7 and 14 days after sowing (DAS). Different letters indicate significantly different means between treatments (P<0.05). Santa Maria, Brazil, 2012.

## CAPÍTULO 3

### **ÁCIDO GIBERÉLICO, HAF PLUS<sup>®</sup> E TIAMETOXAM NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO SEMEADAS EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA**

**Gibberellic acid, Haf Plus<sup>®</sup> and thiamethoxam on agronomic performance of flooded rice cultivars under different dates of sowing**

#### **Resumo**

Semeaduras de arroz realizadas no início da época preferencial proporcionam ganhos em rendimento em função da fase reprodutiva do arroz coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar. No entanto, temperaturas baixas são comuns nessa época o que pode comprometer o estande inicial e, conseqüentemente, o rendimento da cultura. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso de substâncias com efeito de regulador de crescimento sobre o desempenho agrônômico de duas cultivares de arroz irrigado semeadas em diferentes temperaturas (ambiente controlado) e épocas de semeadura (campo). Em ambiente controlado (BOD), o experimento foi conduzido em esquema bifatorial (4 x 2), onde o fator A foi representado por duas cultivares de arroz (Irga 424 e Puita Inta CL); e o fator B, por substâncias com efeito de regulador de crescimento (ácido giberélico, tiametoxam e Haf Plus<sup>®</sup>) mais a testemunha com água. O experimento foi reproduzido em duas temperaturas, 17°C e 25°C. O mesmo experimento foi levado a campo sendo que as temperaturas de crescimento foram representadas por épocas de semeaduras com temperatura inicial do solo similares a utilizadas em BOD. Em laboratório, todos os produtos foram eficientes em estimular a germinação final de sementes e a velocidade de emergência do arroz, sendo que o ácido giberélico foi o único a aumentar o vigor. O efeito, tanto no vigor, quanto na germinação final foi registrado apenas na cultivar tolerante ao frio, Puita Inta CL e em temperatura de 17°C. Em campo, os produtos tem efeito sobre o desempenho agrônômico do

arroz irrigado estando sua influência atrelada à época de semeadura (semeadura com temperaturas mais baixas) e a cultivar utilizada, atuando em parâmetros morfológicos importantes até a fase reprodutiva (perfilhamento, estatura, massa seca, panículas  $m^{-2}$ , clorofila) sem afetar o rendimento, em nenhuma das épocas de semeadura estudadas.

**Palavras chave:** Fito-hormônio. Fertilizante organo-mineral. Frio. Inseticida.

### **Abstract**

Seedling of rice made in the early period preferred provide productivity gains due to the reproductive stage of rice coincide with the greater availability of solar radiation. However, low temperatures are common at this time which may reduce the stand, and consequently the crop yield. Thus, the objective was to evaluate the effect of use different substance with effect of growth regulators on the agronomic performance of two cultivars of rice seedling on different temperatures (controlled environment) and dates (field). In a controlled environment (BOD), the experiment was conducted in three-factor scheme (4 x 2), where factor A was represented by two rice cultivars (Irga 424 and Puita Inta CL); the B factor was the use of different regulators growth (gibberellic acid, thiamethoxam, and Haf Plus) and the test, and the C factor reproduction factor A and B in two growth temperatures (17 and 25°C). The same experiment was carried into the field and the growth temperatures were represented by seed times with similar soil temperatures used in the BOD. In the laboratory, all products were effective in stimulating the final seed germination and emergence rate of rice, and gibberellic acid was the only one to increase the vigour. The effect, both in vigour and in the final germination was recorded only in cold-tolerant cultivar, Inta Puita CL and at 17 °C. In the field, products have any effect on the agronomic performance of rice being tied his influence at the time of sowing (seeding at lower temperatures) and the cultivar used, acting on morphological parameters important to the reproductive stage (tillering, height, dry weight, panicles  $m^{-2}$ , chlorophyll) without affecting the yield in any of sowing periods studied.

**Key words:** Cold. Phytohormone. Organo-mineral fertilizer. Inseticide.

## **Introdução**

Na busca por recursos limitados no meio, há vantagem aparente para aqueles vegetais que exibem estabelecimento precoce, pois os mesmos conseguem competir mais eficientemente pelos recursos do meio (NI et al., 2000; FLECK et al., 2003).

As cultivares de arroz irrigado, disponíveis atualmente no estado do Rio Grande do Sul, possuem diferentes níveis de vigor inicial, o que pode comprometer o estabelecimento inicial da cultura (CRUZ et al., 2010). Quando se associa baixo vigor a fatores ambientais adversos, o processo de germinação tende a ficar comprometido (DUNAND, 1993), uma vez que fatores como temperatura do solo, umidade e concentração de oxigênio regulam de forma direta a velocidade desse processo (MARCOS FILHO, 2005).

Entre esses, a temperatura do solo parece ter um papel de maior destaque nesse processo. Temperaturas baixas diminuem a velocidade do metabolismo de conversão do amido do endosperma para açúcar, dentro da semente (YADAV, 2009). Isso retarda a germinação em campo, prolongando o período de emergência e a exposição das sementes a patógenos de solo, o qual reduz a densidade de plantas ou gera plantas fracas e desuniformes (DUNAND, 1993; CRUZ, 2010).

Em função disso, a adoção de tecnologias que visem diminuir os problemas causados por fatores climáticos na semeadura e que possibilitem o estabelecimento rápido e uniforme das plântulas de arroz torna-se relevante do ponto de vista prático e econômico. Dentre as tecnologias mais promissoras para atuarem nessa fase da cultura, a utilização de substâncias com efeito de regulador de crescimento é ferramenta que, apesar dos resultados de pesquisa confirmarem seus benefícios, é pouco adotada no Brasil, diferentemente de outros países (VELUPPILLAI et al., 2009).

O ácido giberélico é um fito-hormônio extensamente estudado ao longo da história, sendo seu efeito sobre a germinação de diversas espécies documentada por centenas de trabalhos, desde a década de 1930, quando foi descoberta por Yabuta e Hayashi (TAIZ & ZEIGER, 2006). Basicamente, as giberelinas controlam a síntese de enzimas hidrolíticas

ligadas ao processo de germinação que atuam sobre a quebra da dormência e a mobilização das reservas do endosperma (VIEIRA et al., 2002).

Apesar do grande número de trabalhos sobre giberelinas, surgem situações diferenciadas, onde é necessário identificar sua real eficiência, como no caso de sementeiras antecipadas e a cultivar correta a ser empregada nessas situações, pois dentro do melhoramento genético, a seleção para plantas de arroz de menor estatura resultou em baixos níveis de giberelinas, o que afeta adversamente o vigor das sementes de algumas cultivares (SINGH & TAM, 2003).

Soma-se a isso, a crescente disponibilidade no mercado de produtos que atuam em rotas metabólicas das plantas, ativando enzimas, acelerando o processo germinativo, o que condicionam maior vigor, estatura, enraizamento, absorção de nutrientes entre outros benefícios. 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.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de substâncias com efeito de regulador de crescimento no desempenho agrônomo de duas cultivares de arroz irrigado sementeiras em diferentes temperaturas (ambiente controlado) e épocas de sementeira (campo).

## **Material e métodos**

Foram conduzidos três experimentos, sendo dois em ambiente controlado (BOD) e um em campo. Em BOD, os experimentos foram conduzidos no ano de 2010, em laboratório de sementes da área experimental de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, utilizando uma câmara de incubação, tipo *Biochemical oxygen demand* (BOD) equipado com timer digital microprocessado para termoperíodo e fotoperíodo com potência de 280 W com circulação de ar forçada no sentido vertical e precisão de temperatura  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

Nesse ambiente, o primeiro experimento foi conduzido em esquema bifatorial com quatro repetições (2x4), no delineamento inteiramente casualizado. O fator A foi composto de sementes de duas cultivares de arroz irrigado (Puita Inta CL e Irga 424). A cultivar Puita Inta CL foi escolhida pelo seu alto vigor inicial em condições de temperatura baixa e a cultivar

Irga 424 pelo seu baixo vigor inicial nessa condição. O fator B foi constituído pelo tratamento das respectivas sementes com substâncias com efeito de regulador de crescimento, ácido giberélico, tiametoxam, Haf Plus<sup>®</sup> e uma testemunha com água. O ácido giberélico, na sua forma AG<sub>3</sub>, foi escolhido por ser considerado o hormônio da germinação; tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>) é 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; Haf Plus<sup>®</sup>, um fertilizante organo-mineral foi incluído em função da sua constituição obtida de extratos naturais e algas, os quais podem conferir efeitos variados dentro da planta, desde hormonal até nutricional. É caracterizado como uma mistura formulada de nitrogênio (5%) + matéria orgânica (25%), L-α aminoácidos livres (6%), extrato de algas *Ascophyllum nodosum*, polissacarídeos, micronutrientes (0,72%). Anterior ao experimento foi calibrada a dose mais responsiva de cada produto (dados não mostrados). Para tiametoxam (TMX) e Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), a dose utilizada foi de 200 mL/100kg de sementes enquanto que para AG<sub>3</sub> foi de 4g/100 kg de sementes. O experimento foi reproduzido em duas temperaturas diferentes, 17°C e 25°C.

Nesse ambiente, foi realizado o teste de germinação segundo especificações das Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). A germinação foi registrada aos sete e aos 14 dias após a semeadura (DAS), sendo consideradas germinadas aquelas sementes cuja radícula e coleóptilo alcançaram dois centímetros de comprimento. Os resultados foram expressos em porcentagem de plantas germinadas.

O segundo experimento realizado nesse ambiente foi para determinar a velocidade de emergência, onde as sementes tratadas com os respectivos produtos foram semeadas em caixas gerbox contendo 50 g de solo peneirado. A profundidade de semeadura foi de dois centímetros. A contagem das plântulas emergidas foi iniciada assim que as mesmas tornavam-se visíveis e finalizavam quando a contagem estabilizava. Para o cálculo do índice de velocidade de emergência (IVE) foi utilizada a equação sugerida por POPINIGIS (1977):  $IVE = N_1/D_1 + N_2/D_2 + N_n/D_n$ ; onde: N<sub>1</sub>= número de plântulas emergidas no primeiro dia; N<sub>n</sub>=número acumulado de plântulas emergidas; D<sub>1</sub>= primeiro dia de contagem; D<sub>n</sub>= número de dias contados após a semeadura.

Finalizada a etapa de laboratório, o terceiro experimento foi levado a campo, com os mesmos tratamentos. Em um primeiro momento foi instalado um geotermômetro na área do experimento, com o objetivo de monitorar a temperatura do solo, a qual deveria ser a mais próxima da utilizada em laboratório, 17°C e 25°C, para que ocorresse a semeadura. Com isso,

a semeadura do experimento na temperatura de 17°C ocorreu no dia 01/10/2010 e na temperatura de 25°C, no dia 13/11/2010, contabilizando dois experimentos semeados em momentos distintos, porém, com o mesma metodologia de condução.

A densidade de sementes na semeadura utilizada para as duas cultivares foi de 85 kg ha<sup>-1</sup>. As unidades experimentais mediram 5x1,53m (7,65m<sup>2</sup>) e a área útil para estimativa da rendimento de grãos foi de 4,0x1,19 m (4,76m<sup>2</sup>). Os demais tratos culturais foram realizados conforme recomendação da pesquisa para o arroz irrigado (SOSBAI, 2010). O delineamento do experimento foi o de blocos ao acaso.

Aos 10 dias após a emergência (DAE) foi demarcado um metro de linha em cada unidade experimental, onde se realizou a contagem do estande inicial, posteriormente convertido para m<sup>2</sup>. Além disto, nessa área realizou-se a contagem do número de colmos planta<sup>-1</sup> aos 25, 35, 45 e 55 DAE, para os dois experimentos, e o número de panículas, por ocasião da pré-colheita, aos 115 DAE. Na mesma ocasião, avaliou-se a estatura de 10 plantas escolhidas em sequência.

Para a avaliação de massa seca e estatura de plantas foi demarcado outro metro de linha, do qual foram retiradas 10 plantas em sequência a cada avaliação. Depois de arrancadas, as plantas foram lavadas, retiradas as raízes e medidas da base até a ponta da última folha, objetivando-se obter a estatura das plantas do estágio V1, V3, V4 e V5, segundo escala de COUNCE et al. (2000). Depois de medidas, as plantas foram colocadas em sacos de papel e submetidas a estufa de circulação forçada com temperatura de 65°C, até peso constante, visando obter a massa seca das plantas. Essa avaliação foi realizada desde o estágio V1 até V9, obtendo-se o acúmulo de massa seca durante o ciclo vegetativo da cultura.

Para a quantificação do conteúdo de clorofila e carotenóides, pedaços da penúltima folha expandida eram retirados de plantas da parcela, até se obter 0,5 g de material verde. Esse material foi congelado até o momento da extração de acordo com a metodologia proposta por Hiscox & Israelstam (1979). Essa avaliação foi realizada nos estádios V1, V3 e V5, sendo expresso em clorofila total, o qual representa o somatório do conteúdo de clorofila “a” mais o de clorofila “b”, além do conteúdo de carotenóides, expressos em mg/g matéria verde (mv).

O rendimento foi determinado colhendo-se manualmente as panículas da área útil das parcelas quando os grãos atingiram umidade média de 20%. Estas foram trilhadas e, posteriormente, determinou-se a massa dos grãos e a umidade foi corrigida para 13%. A análise estatística foi realizada através do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A variável porcentagem de germinação (7 e 14DAS) foi transformada pela equação  $y_t = \sqrt{y+1}$ .

## Resultados e discussão

O AG<sub>3</sub> foi o único produto que estimulou a germinação do arroz em temperatura baixa (Figura 1), aos sete dias após a semeadura (DAS). Além disto, esse estímulo foi dependente da cultivar utilizada, pois para Irga 424 não houve resposta a nenhum dos produtos em um primeiro momento, enquanto que para Puita Inta CL, 23% das sementes germinaram com AG<sub>3</sub>, comparado a 0% nos demais tratamentos.

Segundo Singh & Tam (2003), alguns genótipos de arroz não responderiam as aplicações exógenas de AG<sub>3</sub> principalmente por que em seus tecidos há elevados níveis de AG<sub>3</sub> endógeno. Porém, parece não ser o caso de Irga 424, porque se seu conteúdo endógeno fosse elevado, essa cultivar apresentaria um alto vigor inicial (DUNAND, 1993), condição essa que não é observada. Aparentemente, seu maior problema está ligado a sua intolerância ao frio, confirmado em ensaios de sensibilidade conduzidos por Cruz (2010), onde apenas 2,5% das plantas sobreviveram. É nessa situação de estresse que seria interessante que essas substâncias fossem eficientes. Aparentemente, os fatores intrínsecos dessa planta foram mais atuantes do que os estímulos externos.

Aos 14 DAS, todos os produtos foram eficientes em estimular a germinação das sementes de Puita Inta CL, com uma diferença, em média, de 19% a mais de plântulas do tratamento testemunha. Para Irga 424 não houve respostas diferenciadas entre a testemunha e os produtos testados.

Quando se elevou a temperatura para 25°C, a resposta foi diferente. Aos 7 DAS, para Irga 424 houve um acréscimo de 37% de plântulas no tratamento com AG<sub>3</sub>, confirmando a hipótese que sua sensibilidade ao frio afeta grandemente sua resposta a estímulos externos. Os demais produtos, HAF e TMX, também foram eficientes no estímulo a germinação dessa cultivar, porém em menor escala, 10 e 8%, respectivamente. No caso de Puita Inta CL, houve melhor resposta para HAF e AG<sub>3</sub>, enquanto que TMX não diferiu da testemunha, demonstrando que as respostas estão intimamente ligadas à cultivar. Na avaliação aos 14DAS, para nenhuma das cultivares houve incremento de germinação. Isso porque ao elevar a

temperatura disponibiliza-se as condições ótimas para que ocorra a sequência de reações químicas necessárias ao processo de germinação, as quais tem sua velocidade de ocorrência regulada pela temperatura (MARCOS FILHO, 2005). Com isso, pode-se inferir que o emprego dos reguladores de crescimento só seria eficiente naquelas situações em que a germinação é retardada, como temperaturas baixas no momento da sementeira e diminui à medida que as condições de estresse são minimizadas, concordando com os resultados obtidos por Yan et al. (2004) em trabalho similar com AG<sub>3</sub>.

O resultado de velocidade de emergência foi reflexo da avaliação de germinação (Figura 1 B). Na temperatura de 17°C, ao realizar-se o tratamento de Puita Inta CL com AG<sub>3</sub>, acelerou-se em até sete dias a emergência de 50% do estande, pois a mesma ocorreu três dias após a sementeira, enquanto que para os demais tratamentos necessitou-se entre nove e 10 dias. O índice de velocidade de emergência (IVE) obtido com esse tratamento foi de 9,6, enquanto que para os demais tratamentos, foi de apenas 3,5 (Tabela 1). Para Irga 424, durante os 17 dias de avaliação, não houve diferenças entre os tratamentos, finalizando a avaliação com apenas 40% de plântulas emergidas e um IVE de 1,9, em média.

Esse resultado é de extrema importância no cenário atual da lavoura orizícola onde, em função da grande área a ser semeada em um curto espaço de tempo, a sementeira deve ser realizada assim que as condições de umidade do solo permitirem, mesmo que as temperaturas do solo não sejam a mais adequada para a germinação das sementes (CRUZ, 2010). Além disto, a planta em crescimento deve apoderar-se rapidamente do espaço, representado pelos recursos, sendo seu sucesso competitivo dependente do uso antecipado desses. Cada planta para de crescer quando seu espaço é restringido pelas concorrentes, de tal forma que os últimos indivíduos a aparecer crescem pouco (FLECK et al., 2003). Assim, os vegetais mais competitivos geralmente são os primeiros a emergir, indicando que a época de emergência torna-se mais importante do que o arranjo espacial de indivíduos na determinação do potencial competitivo dessa população de plantas (FISCHER & MILES, 1973).

Quando as condições tornam-se mais favoráveis, como temperaturas mais elevadas, as respostas da planta também são modificadas. A 25°C, a cultivar Irga 424, apresentou um maior IVE quando tratado com TMX, diferindo dos demais tratamentos. Apesar disso, todos os tratamentos apresentaram 50% de emergência no segundo dia de avaliação. Confirmando o resultado da avaliação de germinação, HAF e AG<sub>3</sub> apresentaram um maior IVE para a cultivar Puita Inta CL, com comportamento intermediário para TMX e menor IVE para a testemunha, além de ter atrasado em um dia sua emergência comparado aos demais tratamentos.

De maneira geral, em ambiente controlado todos os produtos utilizados foram eficientes em estimular a germinação das sementes de arroz e a velocidade de emergência, com maior destaque para ácido giberélico, sendo esse estímulo mais eficiente em condições de temperatura baixa e em cultivares com maior tolerância ao frio.

Quando levadas a campo, o desempenho agrônômico (Tabela 3) das cultivares Irga 424 e Puita Inta CL continuou a ser dependente do produto utilizado e da época de semeadura.

A avaliação de estande inicial revelou um menor número de plantas estabelecidas no tratamento TMX para a cultivar Puita Inta CL. Não se tem uma explicação para esse fato, mas como esse resultado não foi expresso nas avaliações de laboratório, uma das hipóteses para esse resultado pode estar atrelado a uma potencialização do produto em condições de campo, onde a dose utilizada pode ter causado algum tipo de fitotoxicidade, prejudicando a germinação das sementes. Segundo CAVUŞOĞLU et al. (2011) ao aumentar a dose de utilização, TMX pode causar alterações na mitose, aberrações cromossômicas, diminuindo o índice mitótico e aumentando a peroxidação de lipídios, resultando em uma diminuição da germinação de sementes de *Allium cepa* L. O efeito fitotóxico de TMX, dependente da dose, já havia sido relatado por ALMEIDA et al. (2011) em sementes de arroz irrigado. No presente estudo, o efeito de diminuição de estande inicial foi observado apenas para Puita Inta CL, na primeira época de semeadura. Para os demais, não houve diferenças entre os tratamentos.

Em relação à avaliação de colmos por planta, na primeira época, o tratamento mais eficiente em estimular o perfilhamento foi o AG<sub>3</sub>, desde o início (estádio V4) até o final da fase vegetativa (V9). Porém, para se entender o porquê desse resultado, outros parâmetros devem ser analisados. O AG<sub>3</sub> é eficiente em estimular a germinação, porém, em campo, esse produto causou o estiolamento das plantas em função do alongamento excessivo (colmos e folhas) (em V3 as plantas apresentavam 12,9 cm a mais que a testemunha (Tabela 4)), tornando-as débeis e cloróticas. Esses sintomas permaneceram até o momento da entrada de água, onde ocorreu a segunda aplicação de nitrogênio, o que provavelmente minimizou os efeitos do estiolamento, pois no estágio V5 não havia mais diferenças de estatura entre as plantas avaliadas.

Quando se compara as épocas, percebe-se que apenas na primeira época o AG<sub>3</sub> apresentou esse comportamento. A diferença básica entre as duas épocas foi a temperatura entre a semeadura e a entrada de água. Temperaturas baixas (entre 11 e 18 °C) induzem a uma redução de quase 50% no conteúdo endógeno de giberelinas nas plantas, o que

consequentemente ocasiona em aumento da sensibilidade às aplicações exógenas de AG<sub>3</sub>, acarretando um excessivo alongamento foliar (SINGH & PALEG, 1984; PINTHUS et al., 1989) em função da potencialização da dose utilizada.

Reflexo dessa desordem foi a quantificação de clorofila e carotenóides, onde no tratamento com AG<sub>3</sub> apresentou uma redução de 40% no conteúdo total de clorofila, para as duas cultivares, no estágio V1. Esse resultado é reflexo do excessivo estiolamento das folhas, pois o maior crescimento vegetativo, evidenciado pela elevada estatura acaba provocando um efeito de diluição (TAIZ & ZEIGER, 2006). Em contrapartida, a testemunha apresentou o maior conteúdo de clorofila total em resposta, provavelmente, ao seu menor estímulo ao perfilhamento e menor acúmulo de massa seca.

Na segunda época, o desenvolvimento das plantas foi mais acelerado e não resultou em um crescimento desordenado. Diferenças relativas à estatura ainda foram observadas o que proporcionou sintomas de deficiência de nitrogênio, refletido em menor conteúdo de clorofila total. No entanto, não foram observadas folhas decumbentes nem perfilhamento excessivo, pois, provavelmente, o alongamento ocorreu na região do mesocótilo/entre nós. Nessa época, foi possível verificar o efeito benéfico de TMX e HAF sobre o perfilhamento da cultivar Irga 424 (aos 25 e 55 DAE). Na primeira época, em algumas avaliações de perfilhamento (aos 35 e 55 DAE) foi possível verificar o mesmo efeito, porém, o resultado de AG<sub>3</sub> acabou por mascarar a maior parte dos resultados.

Quando se analisa o acúmulo de massa seca do arroz (Figura 2) percebe-se ainda o efeito do estiolamento do AG<sub>3</sub> sobre a massa seca. Na primeira época, as plantas oriundas do tratamento com AG<sub>3</sub> apresentaram menos de 50% da massa do melhor tratamento, HAF, no estágio V3, para as duas cultivares. Porém, a partir de V5, para Irga 424 a maior quantidade de massa seca foi obtida no tratamento com AG<sub>3</sub>, seguido de TMX, provavelmente em função do maior perfilhamento nesses dois tratamentos. O ácido giberélico e tiametoxam destacaram-se até V9 pela maior quantidade de massa seca. Para Puita Inta CL, até V5 o melhor tratamento foi HAF, seguido de AG<sub>3</sub> e TMX. Porém, a partir de V6, AG<sub>3</sub> e TMX demonstraram ter grande influência sobre esse parâmetro morfológico, ficando HAF com um comportamento intermediário, sendo, no entanto, melhor que a testemunha.

Na segunda época, a partir de V4, TMX apresentou os maiores valores de massa seca, para Irga 424 e Puita Inta CL. Em alguns estádios foi acompanhado de HAF ou AG<sub>3</sub>.

A influência dos produtos sobre o desempenho agrônômico persistiu até a pré-colheita, na primeira época de semeadura, para a cultivar Irga 424, refletindo em maior estatura,

apresentando cerca de 5 cm de diferença em relação a testemunha e 23% a mais de panículas  $m^{-2}$ . A estatura de plantas é um parâmetro agrônomico definido a partir do período reprodutivo, quando ocorre o alongamento dos entre-nós e é altamente influenciada pela condição nutricional da planta naquele momento (MAE, 1997). O estímulo ao perfilhamento ocasiona diversas modificações na planta-mãe. Os novos perfilhos contribuem com a produção de fotoassimilados através da emissão de novas folhas. Além disto, uma parte desses perfilhos produzirá panículas (YOSHIDA, 1981), o que explicaria o melhor desempenho dos produtos, quando comparados à testemunha. Para a segunda época, não houve diferenças entre os produtos e a testemunha nesses parâmetros.

Apesar das diferenças, na primeira época, persistirem até o estágio V9 e influenciarem o perfilhamento, a massa seca das cultivares e o número de panículas, não houve diferenças estatísticas quanto ao rendimento, em nenhuma das épocas estudadas. Há diversas formas de compensação por parte da planta que podem ter contribuído para que a testemunha e os produtos apresentassem o mesmo desempenho em relação ao rendimento. Um mecanismo de compensação muito comum é a maior quantidade de grãos por panícula, o qual foi observado no tratamento testemunha, para a cultivar Irga 424. Além disto, como já comentado, o maior conteúdo de clorofila nesse tratamento estimula maior produção de fotoassimilados, os quais contribuem diretamente para o rendimento.

## **Conclusão**

Em condições de laboratório, ácido giberélico estimula o vigor de cultivares de arroz tolerantes ao frio (Puita Inta CL). Tiametoxam e Haf Plus<sup>®</sup>, juntamente com ácido giberélico, aumentam a germinação final de sementes e a emergência do arroz irrigado em temperatura baixa (17°C). Em campo, interações com fatores ambientais não reproduziram o mesmo efeito sobre o processo germinativo. Ácido giberélico provoca excessivo alongamento da parte aérea, o que causa um menor acúmulo de massa seca e menor quantidade de clorofila. Tiametoxam e Haf Plus<sup>®</sup> tem influência positiva sobre o perfilhamento e acúmulo de massa seca. Essas diferenças ocorrem em sementeiras com temperatura do solo mais baixa. Apesar de diferenças nos parâmetros agrônomicos, não há influência dos produtos sobre o rendimento, em nenhuma das épocas de semeadura ou cultivar utilizada.

### Referências bibliográficas

ALMEIDA, A, S. et al. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista brasileira de sementes**, v.33, n.3, p. 501-510, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 390 p.

CAVUŞOĞLU, K. Physiological, Anatomical, Biochemical, and Cytogenetic Effects of Thiamethoxam Treatment on *Allium cepa* (Amaryllidaceae) L. **Environmental Toxicology**, [on line] doi: 10.1002/tox.20680.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, n.40, 436-443, 2000.

CRUZ, P, R, da. **Exigências climáticas para a cultura do arroz irrigado**. Boletim técnico 11. Cachoeirinha: IRGA/Estação experimental, Seção de Melhoramento Genético, 2010. 36p.

CRUZ, R.P, da.; DUARTE, I.T.L.; CABREIRA, C. Inheritance of rice cold tolerance at the seedling stage. **Scientia Agricola**, v.67, n.6, p.669-674, 2010.

DUNAND, R.T. **Gibberellic acid seed treatment in rice**. La. Agri. Exp. Stn. Bull. n. 842, 1993.19 p.

FISCHER, R.A.; MILES, R.E. The role of spatial pattern in the competition between crop plants and weeds: A theoretical analysis. **Mathematical Biosciences**, v.18, p. 335-350, 1973.

FLECK, N.G. et al. Velocidade de estabelecimento em cultivares de arroz irrigado como característica para aumentar a habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Ciência Rural**, v. 33, n.4, p. 635-640, 2003.

HISCOX, J.D., ISRAELSTAM, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p. 1132 - 1334, 1979.

MAE T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potential. **Plant and Soil**, v.196, p.201-210, 1997.

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

NI, H. et al. *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. **Weed Science**, v.48, n.2, p.200-204, 2000.

PINTHUS et al. Effect of Temperature on Gibberellin (GA) Responsiveness and on Endogenous GA1 Content of Tall and Dwarf Wheat Genotypes. **Plant Physiology**, v.90, p.854-859, 1989.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Agiplan, 1977. 289p.

PORRAS, J. C. **Tiametoxam**: Un nuevo concepto em vigor y productividad. 2008. 196p.

SINGH, S. P.; PALEG, L.G . Low-temperature-induced GA<sub>3</sub> Sensitivity of Wheat. V. Sterol Conversions in the Wheat Aleurone Tissue during Imbibition. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.12, n.5, p.549-555, 1984.

SINGH, S. P.; TAM, R .Biochemical response of rice genotypes to exogenous gibberellic acid. *International Research Rice Notes*, p. 68-70, 2003.

SOSBAI- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado**: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil, 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188p.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed., Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.

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

VIEIRA, A.R et al. Action of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) on dormency and activity of  $\alpha$ -amylase in rice seeds. **Revista Brasileira de sementes**, v. 24, n.2, p. 43-48, 2002.

YADAV, S.K. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.30, p.515-527, 2010.

YAN, W. et al. Effects of gibberellic acid on rice germination and seedling emergence in stress conditions. **Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series**, 517, p.303-316, 2004.

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

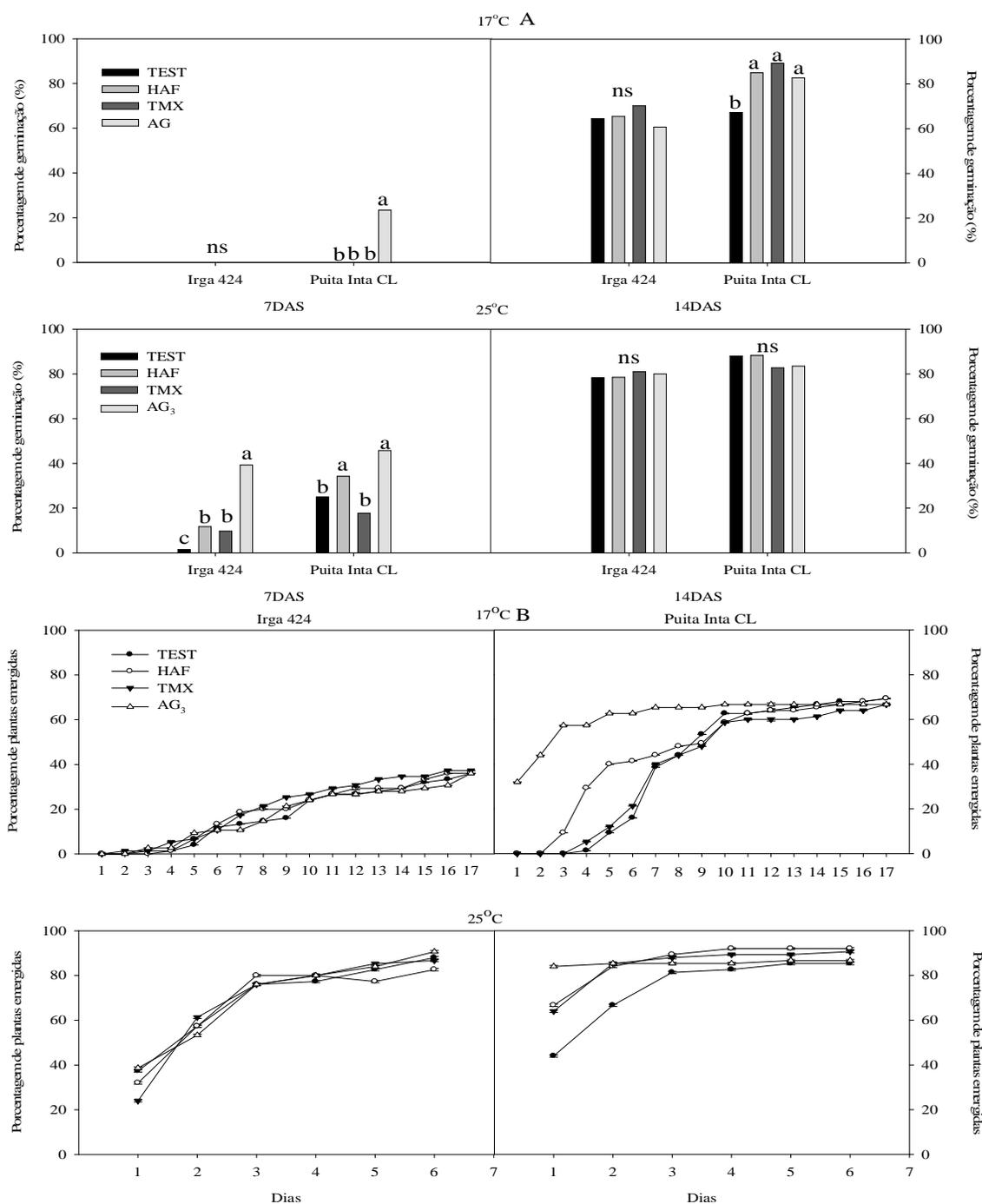


Figura 1- Porcentagem de germinação (A) de duas cultivares de arroz (Irga 424 e Puita Inta CL) realizada aos 7 e 14 dias após a semeadura (DAS) em função do tratamento das sementes com substâncias com efeito de regulador de crescimento (testemunha (TEST), tiametoxam (TMX), Haf Plus<sup>®</sup> (HAF) e ácido giberélico (AG<sub>3</sub>)) em duas temperaturas de crescimento (17 e 25°C), bem como a velocidade de emergência (B) nas mesmas condições. Santa Maria, Brasil, 2012.

Tabela 1- Índice de velocidade de emergência de duas cultivares de arroz irrigado (Irga 424 e Puita Inta CL) submetidas ao uso de tiametoxam (TMX), Haf Plus® (HAF), ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e testemunha com água (TEST), bem como a resposta das cultivares em diferentes temperaturas (17 e 25 °C). Santa Maria, Brasil, 2012.

Tratamentos	17°C		25°C	
	Irga 424	Puita Inta CL	Irga 424	Puita Inta CL
TEST <sup>1</sup>	1,8B <sup>ns</sup>	3,4Ab <sup>1</sup>	13,0Bb	17,3Ac
TMX	2,2B	3,7Ab	17,7Ba	21,3Ab
HAF	1,7B	3,4Ab	12,1Bb	24,7Aa
AG <sub>3</sub>	2,1B	9,6Aa	13,5Bb	25,6Aa
Média	1,9	5,0	14,1	22,2
C.V.(%)	13,8		7,7	

<sup>1</sup>Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os reguladores de crescimento dentro da coluna e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as cultivares, entre colunas; ns: médias não significativas.

Tabela 2- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado (Irga 424 e Puita Inta CL) ao uso ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) utilizados em diferentes épocas de semeadura quanto ao estande inicial, número de colmos por planta, estatura de plantas, número de panículas e rendimento do arroz irrigado, em campo. Santa Maria, Brasil, 2012.

Tratamentos	Estande		Colmos planta <sup>-1</sup>				Estatura		Panículas		Rendimento					
	m <sup>2</sup>		Dias após a emergência				Cm		m <sup>2</sup>		kg ha <sup>-1</sup>					
	I.424 <sup>1/2</sup>	PT	I.424	PT	I.424	PT	I.424	PT	I.424	PT	I.424	PT				
Época I																
TEST <sup>1</sup>	404 <sup>ns</sup>	390 <sup>ns,a1</sup>	1,3 <sup>nsb</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	2,1 <sup>nsb</sup>	3,6 <sup>ns</sup>	2,9 <sup>ns</sup>	3,5Ab	3,0Bb	87Bb	94A <sup>ns</sup>	614Ab	496B <sup>ns</sup>	13109A <sup>ns</sup>	11047B <sup>ns</sup>
TMX	427A	282Bb	1,4b	1,9	2,5B	3,7Aa	3,6 <sup>ns</sup>	3,6 <sup>ns</sup>	3,6 <sup>nsb</sup>	3,9 <sup>nsa</sup>	92Ba	95 <sup>a</sup>	773Aa	584B	13221A	11924B
HAF	443 <sup>ns</sup>	371 <sup>nsa</sup>	1,6b	2,2	2,9 <sup>ns</sup>	3,2 <sup>nsa</sup>	3,7 <sup>ns</sup>	3,7 <sup>ns</sup>	4,2Ab	3,4Bb	92Ba	95 <sup>a</sup>	737Aa	551B	13670 <sup>ns</sup>	12065 <sup>ns</sup>
AG	443 <sup>ns</sup>	343 <sup>nsa</sup>	2,3a	2,1	2,8 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>nsa</sup>	4,2A	3,3B <sup>ns</sup>	4,9Aa	3,9Ba	93 <sup>nsa</sup>	93 <sup>ns</sup>	737Aa	602B	13086A	10819B
Média	379	347	1,7	1,9	2,6	3,0	3,8	3,4	4,0	3,6	91,0	94,7	715	558	13471	11464
Época II																
TEST	308 <sup>ns</sup>	320 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>nsb</sup>	2,6 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	3,4 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	3,4 <sup>nsb</sup>	3,5 <sup>ns</sup>	95 <sup>ns</sup>	93 <sup>ns</sup>	545 <sup>ns</sup>	512 <sup>ns</sup>	11305A <sup>ns</sup>	10266B <sup>ns</sup>
TMX	287	302	3,5Aa	2,5B	3,5	3,7	3,8	3,6	3,7a	3,3	96A	91B	640A	496B	12592A	10490 B
HAF	265	271	3,9Aa	2,8B	4,0	4,4	4,1	4,2	4,1a	3,5	95 <sup>ns</sup>	92 <sup>ns</sup>	665A	516B	12342A	9212B
AG	315	273	3,0 <sup>nsb</sup>	3,0 <sup>ns</sup>	3,9	4,5	3,3	4,0	3,2b	3,6	93A	89B	610A	496B	13152A	10862B
Média	294	291	3,3	2,7	3,8	4,0	3,7	3,9	3,6	3,5	95	91	615	505	12348	10208
Média	336	319	2,5	2,3	3,2	3,5	3,8	3,6	3,8	3,5	93	92,8	665	531	12909	10836
C.V. %	11		20		12		7		10		8		4		9	

<sup>1/</sup>Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott (P≤0,05). Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os produtos dentro da coluna da cultivar e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as cultivares, entre colunas; ns: médias não significativas.<sup>3</sup> Irga 424 (I.424) e Puita Inta CL (PT).

Tabela 3- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado (Irga 424 e Puita Inta CL) ao uso de ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) utilizados em diferentes épocas de semeadura quanto a estatura de plantas (cm) mensuradas em diferentes estádios fenológicos do arroz irrigado. Santa Maria, Brasil, 2012.

Tratamentos	V1 <sup>2</sup>		V3		V4		V5	
	Irga 424	Puita Inta CL						
-----Época I-----								
TEST	7,2Bb <sup>1</sup>	9,5Ab	11,2Bb	13,1Ab	17,8Bc	21,9Ab	30,3B <sup>ns</sup>	43,0A <sup>ns</sup>
TMX	8,3 <sup>ns</sup> b	9,0 <sup>ns</sup> b	11,9 <sup>ns</sup> b	12,6 <sup>ns</sup> b	19,0Bc	21,7Ab	31,0B	43,8A
HAF	8,3Bb	10,0Ab	12,7 <sup>ns</sup> b	12,6 <sup>ns</sup> b	20,5 <sup>ns</sup> b	21,6 <sup>ns</sup> b	32,0B	42,1A
AG <sub>3</sub>	11,7 <sup>ns</sup> a	11,3 <sup>ns</sup> a	24,1Aa	19,0Ba	23,4Ba	28,0Aa	31,3B	43,5A
Média	9	10	15	14	20	23	33	43
-----Época II-----								
TEST	11,3 <sup>ns</sup> c	10,9 <sup>ns</sup> b	15,1Bc	17,3Ab	17,6Bc	25,4Ab	33,6 <sup>ns</sup> b	32,5 <sup>ns</sup> b
TMX	13,4Ab	11,1Bb	18,5 <sup>ns</sup> b	18,0 <sup>ns</sup> b	21,4Bb	23,1Ac	35,5a	34,8a
HAF	11,0 <sup>ns</sup> c	12,2 <sup>ns</sup> b	16,1Bc	19,0Ab	19,0Bc	26,3Ab	35,9a	35,2a
AG <sub>3</sub>	15,9 <sup>ns</sup> a	16,2 <sup>ns</sup> a	24,6Ba	27,1Aa	28,9Ba	32,3Aa	30,6c	30,8b
Média	12,9	12,6	18,6	20,3	21,7	26,8	33,9	33,3
Médias	10,9	11,3	16,8	17,1	20,8	24,9	33,4	38,1
C.V.(%)	8,3		7,5		5,1		4,4	

<sup>1</sup>Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os produtos dentro da coluna da cultivar e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as cultivares, entre colunas; ns: médias não significativas. <sup>2</sup>Estádios fenológicos segunda a escala de COUNCE et al. (2000).

Tabela 4- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado (Irga 424 e Puita Inta CL) ao uso de ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) utilizados em diferentes épocas de semeadura quanto ao conteúdo de clorofila total e carotenóides (mg/g mv) quantificados em diferentes estádios fenológicos do arroz irrigado. Santa Maria, Brasil, 2012.

Trat	V1 <sup>2</sup>				V3				V5			
	Total		I CARO		Total		III CARO		Total		V CARO	
	Irga 424	Puita Inta CL	Irga 424	Puita Inta CL	Irga 424	Puita Inta CL	Irga 424	Puita Inta CL	Irga 424	Puita Inta CL	Irga 424	Puita Inta CL
-----Época I-----												
TEST <sup>1</sup>	2,0 <sup>ns</sup> a	2,2 <sup>ns</sup> a <sup>1</sup>	0,9 <sup>ns</sup> b	1,0 <sup>ns</sup> a	4,9Bb	5,7A <sup>ns</sup>	1,4Bb	1,6A <sup>ns</sup>	7,2 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup> a	1,7 <sup>ns</sup>	1,8 <sup>ns</sup> a
TMX	1,9a	2,2a	0,8Bb	1,0Aa	4,0Ab	5,0A <sup>ns</sup>	1,2Bb	1,4A	6,3 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup> b	1,6	1,7b
HAF	2,3a	2,3a	1,1 <sup>ns</sup> a	1,1 <sup>ns</sup> a	4,4 <sup>ns</sup> b	5,2 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup> b	1,4 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup> b	1,5	1,6b
AG <sub>3</sub>	1,4b	1,3b	0,6 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup> b	5,7Aa	4,9B	1,7Aa	1,4B	6,8A	5,7Bb	1,5	1,4b
Média	4,1	3,4	1,5	1,2	4,12	3,82	1,37	1,47	4,4	3,2	1,2	1,2
-----Época II-----												
TEST	4,3Aa	3,5B <sup>ns</sup>	1,6Aa	1,2B <sup>ns</sup>	4,8 <sup>ns</sup> a	3,8 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup> a	1,2 <sup>ns</sup>	4,2A <sup>ns</sup>	2,9Bb	1,1 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup> a
TMX	4,4Aa	3,5B	1,5Ab	1,1B	4,9Aa	3,7B	1,5a	1,1	4,1A	2,8Bb	1,1B	1,5Aa
HAF	4,0Aa	3,1B	1,4Ab	1,3B	4,2 <sup>ns</sup> a	3,6 <sup>ns</sup>	1,4a	1,3	4,5A	2,7Bb	1,2A	0,8Bb
AG <sub>3</sub>	3,6 <sup>ns</sup> b	3,7 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup> b	1,3 <sup>ns</sup>	2,6 <sup>ns</sup> b	4,0 <sup>ns</sup>	0,9b	1,3	4,7 <sup>ns</sup>	4,4 <sup>ns</sup> a	1,3 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup> a
Média	1,9	2,0	0,9	0,9	4,12	3,82	1,36	1,21	6,6	6,3	1,6	1,6
Médias	3,0	2,7	1,2	1,1	4,12	3,8	1,36	1,34	5,5	4,8	1,4	1,4
C.V.(%)	11,1		12,6		14		12,9		11,6		11,6	

<sup>1</sup>Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os produtos dentro da coluna da cultivar e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as cultivares, entre colunas; ns: médias não significativas. <sup>2</sup>Estádios fenológicos segunda a escala de COUNCE et al. (2000).

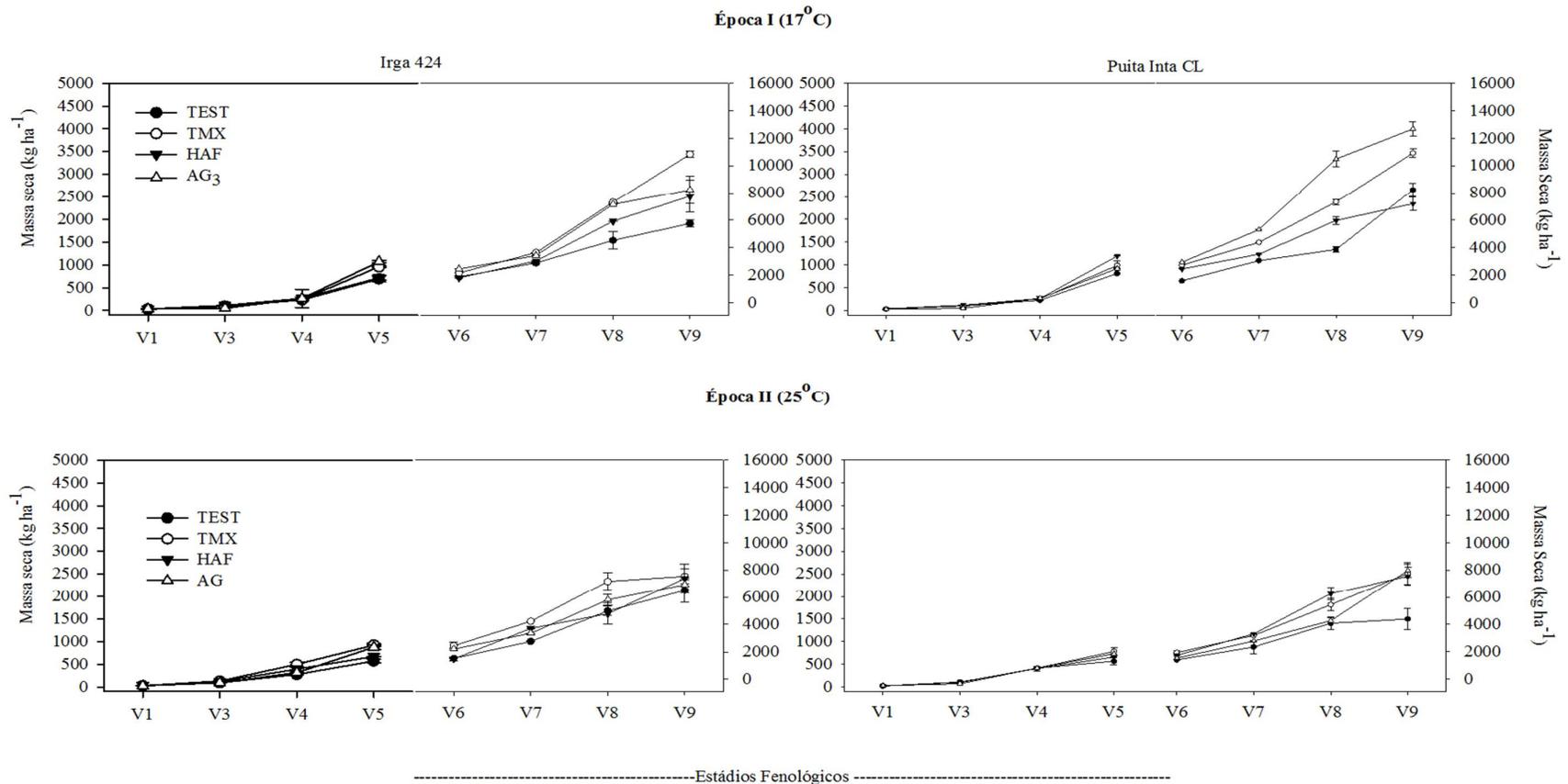


Figura 2- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado (Irga 424 e Puita Inta CL) submetidas ao uso de ácido giberélico (AG3), Haf Plus (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) utilizados em diferentes épocas de semeadura quanto a massa seca total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) quantificados em diferentes estádios fenológicos do arroz irrigado. Santa Maria, Brasil, 2012.

## CAPÍTULO 4

### DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO TRATADAS COM ÁCIDO GIBERÉLICO, HAF PLUS® E TIAMETOXAM SEMEADAS EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

**Agronomic performance of flooded rice cultivars treated with gibberellic acid, Haf Plus® and thiamethoxam grown in different cropping systems**

#### **Resumo**

O estabelecimento inicial do estande da lavoura é uma fase crítica da cultura do arroz irrigado sendo bastante influenciado por fatores abióticos. Dependendo do sistema de cultivo adotado esse estabelecimento pode ser ainda mais afetado, como no sistema pré-germinado, onde as plantas encontram dificuldades para sua fixação em função da presença da lâmina de água. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi quantificar a resposta de cultivares de arroz irrigado tratadas com substâncias com efeito de regulador de crescimento submetidos à semeadura em diferentes sistemas de cultivo quanto ao seu estabelecimento inicial e desempenho agronômico. Em ambiente controlado (BOD), o experimento foi conduzido em esquema bifatorial (4 x 2), onde o fator A foi representado por duas cultivares de arroz (Irga 424 e Irga 425); e o fator B, foi a utilização de diferentes produtos (ácido giberélico, tiametoxam e Haf Plus®) mais a testemunha. O mesmo experimento foi levado a campo sendo que os tratamentos foram submetidos a semeadura em dois sistemas de cultivo, convencional e pré-germinado. Em laboratório, os produtos utilizados influenciaram de forma positiva a germinação de Irga 425, com incremento de 50% na germinação com a utilização de tiametoxam e 39%, para Haf Plus® e ácido giberélico. Em campo, esse desempenho dependeu

do sistema e da cultivar utilizada, sendo que no sistema convencional há maior influência dos produtos sobre o desempenho agrônomo. O ácido giberélico causa um estiolamento inicial que reflete na estatura, emissão de perfilhos e deposição de biomassa vegetal. Tiametoxam e Haf Plus<sup>®</sup> estimulam o perfilhamento das cultivares de arroz, nos dois sistemas de cultivo e, apesar de todos os produtos estimular o número de panículas m<sup>-2</sup>, não há influência no rendimento nos dois sistemas utilizados.

**Palavras-chave:** Fito-hormônio. Fertilizante organo-mineral. Inseticida. Sistema pré-germinado.

### **Abstract**

The initial establishment of crop stand is a critical phase of flooded rice and is highly influenced by abiotic factors. Depending on the crop system that establishment may be even more delicate, as in direct-seedling system, where plants are difficult to fixation due to the presence of the water. Thus, the objective of this study was to quantify the response of rice cultivars to the use of substance with effect of growth regulators submitted to sowing in different cropping systems as to their initial establishment and agronomic performance. In a controlled environment (BOD), the experiment was conducted in two-factor scheme (4 x 2), where factor A was represented by two rice cultivars (Irga 424 and Irga 425), and factor B, was the use of different regulators growth (gibberellic acid, thiamethoxam and Haf Plus<sup>®</sup>) more the test. The same experiment was being carried into the field that the treatments were sowing in two tillage systems, conventional and direct-seedling. In the laboratory, the products positively influenced the germination of Irga 425, an increase of 50% germination with the use of thiamethoxam and 39% for Haf Plus and gibberellic acid. In the field, this performance was dependent on the system and the cultivar used. Gibberellic acid causes an initial blanching reflected in height, tiller emission and deposition of plant biomass. Thiamethoxam and Haf Plus stimulate tillering of rice cultivars in two cultivation systems and, despite all the products

to stimulate the number of panicles  $m^{-2}$ , there is no influence on grain yield in the two systems used.

**Key words:** Direct-seedling. Phytohormone. Organo-mineral fertilizer. Inseticide.

## **Introdução**

Além de estresses por temperatura baixa, o estabelecimento das plântulas de arroz podem ser afetados por diversos fatores. As características intrínsecas de cada genótipo de arroz podem condicionar plântulas mais ou menos vigorosas, estando associado a balanços hormonais. Além disto, a dormência específica de cada genótipo também controla a velocidade desse processo. Porém, a atuação do ambiente sobre a semente tem particular importância, não somente em relação à temperatura.

No sistema pré-germinado é comum o acamamento das plantas, que ocorre em função da ação do vento e da chuva, o excesso de nitrogênio, a altura da lâmina de água e as características genéticas de cada cultivar (ISMAIL et al., 2009) e que segundo Marchezan et al. (2004) o vento e a chuva, quando causam acamamento, contribuem para a diminuição da rendimento. Dentre os fatores genéticos, está a estatura da planta, o peso da panícula, a espessura e a rigidez do caule e principalmente a formação de um sistema radicular adequado, amplo e profundo (TINARELLI, 1989).

A manutenção da lâmina de água dificulta o desenvolvimento e a fixação das plântulas de arroz, já que as plântulas desprendem-se do solo e passam a flutuar na superfície do solo (FAROOQ et al., 2011). Nesse sentido, há relatos que a retirada da água após a semeadura seria eficiente no estabelecimento da lavoura no sistema pré-germinado (LAURETTI et al. 2001; SILVA et al., 2002), com maior número de plântulas  $m^{-2}$  e melhor fixação de plantas quando comparado ao sistema que mantém a lâmina de irrigação permanente, pois a manutenção dessa prejudicaria o desenvolvimento inicial, causando estiolamento e significativa redução da produção de matéria seca.

Porém, cria-se um impasse, pois o melhor estabelecimento da lavoura de arroz irrigado no pré-germinado é influenciado pela retirada de água ao mesmo tempo que a pesquisa recomenda que essa água seja mantida para evitar perdas e/ou contaminações (MARCHEZAN et al., 2007). Portanto, necessita-se aumentar o vigor inicial e o enraizamento dessas plântulas visando compensar a baixa oxigenação do ambiente que causa o estiolamento e as deixa suscetíveis a agentes externos como o vento, comprometendo o estabelecimento inicial.

Os fito-hormônios atuam em todas as fases de desenvolvimento das plantas e o conhecimento de suas ações é fundamental para a compreensão da vida dos vegetais. Novas descobertas vêm estimulando a utilização dessas substâncias na produção agrícola para buscar sua melhor qualidade e sustentabilidade. Promotores, inibidores do crescimento, reguladores de maturação e bioestimulantes vegetais fazem parte de muitos sistemas produtivos como do algodão, cana-de-açúcar, soja, citros, manga, uva, flores, hortaliças e outros, gerando múltiplos benefícios aos produtores. Dependente de seu modo de ação, podem estimular a germinação das sementes através da quebra de dormência (KÜLEN et al., 2011) ou estímulo ao metabolismo de enzima hidrolíticas (O'BRIEN et al., 2010), controlando etapas da divisão celular, como as giberelinas, ou induzindo processos de auto-defesa da planta, como relatado para inseticidas da classe dos neonicotinóides (FORD et al., 2010).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi quantificar a resposta de cultivares de arroz irrigado ao uso de substâncias com efeito de regulador de crescimento submetidos à semeadura em diferentes sistemas de cultivo quanto ao seu estabelecimento inicial e desempenho agrônômico.

## **Material e métodos**

Dois experimentos foram conduzidos em ambientes distintos. O primeiro experimento foi conduzido em laboratório do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando uma câmara de incubação, tipo *Biochemical oxygen demand* (BOD) equipado com timer digital microprocessado para termoperíodo e fotoperíodo com potência de 280 W com circulação de ar forçada no sentido vertical e precisão de temperatura  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

Nesse ambiente, o experimento foi conduzido em esquema bifatorial com quatro repetições (2x4), no delineamento inteiramente casualizado. O fator A foi composto de sementes de duas cultivares de arroz irrigado, Irga 424 e Irga 425. O fator B foi constituído pelo tratamento das respectivas sementes com substâncias com efeito de regulador de crescimento, ácido giberélico, tiametoxam, Haf Plus<sup>®</sup> e uma testemunha com água. O ácido giberélico, na sua forma AG<sub>3</sub>, foi escolhido por ser considerado o hormônio da germinação; tiametoxam (Cruiser<sup>®</sup>) é 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; Haf Plus<sup>®</sup>, um fertilizante organo-mineral foi incluído em função da sua constituição obtida de extratos naturais e algas, os quais podem conferir efeitos variados dentro da planta, desde hormonal até nutricional. É caracterizado como uma mistura formulada de nitrogênio (5%) + matéria orgânica (25%), L- $\alpha$  aminoácidos livres (6%), extrato de algas *Ascophyllum nodosum*, polissacarídios, micronutrientes (0,72%).

O tratamento com os produtos foi realizado diretamente nas sementes com uma válvula pressurizada, 24 horas anterior à semeadura. Pesaram-se 15 gramas de sementes de cada cultivar, que foram tratadas com 0,7 mL de água e duas gotas de azul de metileno, a qual teve a finalidade de visualizar melhor a uniformidade da pulverização. A vazão do tratamento correspondeu a 4,6 litros/100 kg de sementes.

Após os tratamentos com os produtos seus efeitos foram avaliados através do teste de germinação e comprimento da parte aérea e da raiz, na temperatura de 17°C.

O teste de germinação foi realizado segundo especificações das Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). A germinação foi registrada aos sete, 10 e aos 14 dias após a semeadura (DAS), sendo consideradas germinadas aquelas sementes cuja radícula e coleóptilo alcançaram dois cm de comprimento. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas germinadas.

Para avaliar o comprimento da raiz e parte aérea das plântulas foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes, semeadas sobre uma linha traçada no terço superior do papel. Os rolos contendo as sementes permaneceram por 14 dias em BOD, sendo avaliados a cada 72 horas o comprimento radicular das plântulas normais e da parte aérea, com auxílio de uma régua graduada em milímetros. Iniciou-se a mensuração quando se constatou 50% das sementes germinadas. Os valores foram obtidos através da soma das medidas de cada repetição, dividindo-as pelo número de plântulas.

Finalizada a etapa de laboratório, o experimento foi levado a campo, com os mesmos tratamentos sendo conduzidos em dois sistemas de cultivo, convencional e pré-germinado. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso.

Em um primeiro momento foi instalado um geotermômetro na área do experimento, com o objetivo de monitorar a temperatura do solo (sistema convencional) e da água (pré-germinado), a qual deveria ser a mais próxima da utilizada em laboratório, 17°C. Com isso, a semeadura dos experimentos ocorreu no dia 01/10/2010, sendo alocados lado a lado e submetidos aos mesmos tratamentos culturais. Os tratamentos foram os mesmos utilizados em laboratório. A cultivar Irga 424 foi utilizada por que é recomendada para sistema de semeadura em solo seco e a Irga 425, recomendada para semeadura em sistema pré-germinado. A densidade de semeadura utilizada correspondeu a 90 kg de semente ha<sup>-1</sup>. As parcelas tinham dimensões de 1,87m x 5m (7,85m<sup>2</sup>), com área útil para a estimativa de grãos de 5m<sup>2</sup>. Para o sistema convencional, as plantas estavam espaçadas a 0,175m entrelinhas. Para o sistema pré-germinado, a semeadura foi realizada a lanço. Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme recomendação da pesquisa para o arroz irrigado (SOSBAI, 2010).

Aos 10 dias após a emergência (DAE) foi demarcado um metro de linha em cada unidade experimental, no sistema convencional e uma área de 0,25 x 0,25m no sistema pré-germinado, onde se realizou a contagem do estande inicial, sendo posteriormente, convertido para m<sup>2</sup>. Além disto, nessa área realizou-se a contagem do número de colmos planta<sup>-1</sup> em V4, V5, V7 e V9 para os dois experimentos, e o número de panículas, por ocasião da pré-colheita, aos 115 DAE. Na mesma ocasião, avaliou-se a estatura de 10 plantas escolhidas em sequência.

Para a avaliação de massa seca e estatura de plantas foi demarcado outro metro de linha, do qual eram retiradas 10 plantas em sequência a cada avaliação, para o sistema convencional, enquanto que no pré-germinado, as plantas eram retiradas em sequência do lado oposto ao escolhido para a avaliação de estande inicial e colmos. Depois de arrancadas as plantas eram lavadas, retiradas as raízes e medidas da base até a ponta da última folha, com régua milimetrada, objetivando-se obter a estatura das plantas do estágio V1, V3, V4 e V5, segundo escala de COUNCE et al. (2000). Depois de medidas, as plantas eram colocadas em sacos de papel e submetidas à estufa de circulação forçada com temperatura de 65°C, até peso constante, visando obter a massa seca das plantas.

O rendimento foi determinado colhendo-se manualmente as panículas da área útil das parcelas quando os grãos atingiram umidade média de 20%. Estas foram trilhadas e,

posteriormente, determinou-se a massa dos grãos e a umidade foi corrigida para 13%. A análise estatística foi realizada através do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. A variável porcentagem de germinação (7, 10 e 14DAS) foi transformada pela equação  $y_t = \sqrt{y + 1}$ .

## Resultados e discussão

Na primeira contagem de plântulas normais realizada aos 7 dias após a semeadura (DAS) (Figura 1), todos os produtos utilizados foram eficientes em estimular a germinação das duas cultivares de arroz, com destaque para tiametoxam (TMX). Porém, esse estímulo teve eficiência maior para a cultivar Irga 425, chegando a uma diferença de 48% em relação a testemunha. No caso de TMX e AG<sub>3</sub>, sabe-se que esse estímulo à germinação ocorre, pois os mesmos atuam em diferentes etapas do processo germinativo, principalmente estimulando a atividade de enzimas-chaves envolvidas nesse processo (HORII et al., 2007; RAYORATH et al., 2008; ALMEIDA et al., 2011; MACEDO & CASTRO, 2011). Isso acarreta diversas modificações que resultam em uma aceleração da germinação. Essas modificações já foram intensamente estudadas para AG<sub>3</sub> através da elucidação de seu efeito hormonal, pertencente ao grupo das giberelinas. No entanto, para TMX e HAF, há escassez de informações sobre seus sítios de atuação dentro da semente/planta. O que se pode referir, é que substâncias, que não são hormônios, podem ligar-se ao receptor de um determinado hormônio, pela similaridade estrutural entre as duas moléculas. Além disto, o momento de liberação dos hormônios ou a quantidade produzida e liberada, em um organismo vivo, também pode ser controlada por substâncias químicas exógenas, afetando processos fisiológicos que são mediados pelos hormônios (GAZZONI, 2009).

Aos 10 DAS, a influência dos produtos passou a ser dependente da cultivar utilizada, sendo que para Irga 424, independentemente do produto utilizado, a germinação não diferiu da testemunha até a finalização do teste. Essa cultivar é classificada como sensível ao frio e de vigor inicial baixo (CRUZ et al., 2010), o que pode ter prejudicado sua interação com os produtos utilizados.

Já para Irga 425, tanto TMX quanto AG<sub>3</sub> aumentaram em 60% a germinação das sementes, comparado à testemunha, enquanto que Haf Plus<sup>®</sup> apresentou um comportamento

intermediário (46%). Ao final da avaliação de germinação, aos 14 DAS, a porcentagem de sementes germinadas com tiametoxam foi 50% maior que a testemunha, com comportamento intermediário para AG<sub>3</sub> e Haf Plus<sup>®</sup> (39%). Para entender esse resultado, no entanto, primeiramente precisa-se analisar a avaliação de comprimento da parte aérea e raiz.

Para que a planta fosse considerada germinada, tanto a parte aérea quanto o sistema radicular deveriam apresentar dois centímetros de comprimento. As giberelinas (AG<sub>3</sub>) são eficientes em estimular o alongamento do mesocótilo, conferindo um rápido desenvolvimento da parte aérea das plântulas (YAMAGUSHI, 2008; DAI & XU, 2010). Em um primeiro momento, esse efeito pode se refletir em estímulo ao desenvolvimento radicular, visto que a presença de ácido giberélico atua sobre a atividade das citocininas, hormônio responsável pelo crescimento das raízes (LEITE et al., 2003; GAZZONI, 2009). Porém, quando o crescimento da parte aérea passa a ser excessivo, a plântula desloca seus metabólitos para a nutrição desse órgão, em detrimento ao desenvolvimento da raiz. Isso pode ocasionar uma inibição ao crescimento das raízes, inclusive as adventícias. Essa situação foi observada no experimento, onde AG<sub>3</sub> estimulou basicamente o desenvolvimento da parte aérea. Em um primeiro momento (10 DAS) houve um desenvolvimento do sistema radicular, nas duas cultivares, mais ao final da avaliação (14 DAS) houve predomínio do desenvolvimento da parte aérea.

Para TMX a situação foi inversa: basicamente o estímulo ao sistema radicular foi predominante sobre o crescimento da parte aérea. Sabe-se que o hormônio que regula o crescimento radicular é a citocinina e a auxina, promotor da divisão celular. Isso nos leva a crer que TMX poderia estar regulando a atividade dessa substância dentro da planta. Porém, foi observado em trabalhos anteriores, que o aumento no teor de citocinina deve-se ao maior desenvolvimento radicular, pois não há alteração no número de células das plantas tratadas com esse produto, sendo esse maior crescimento relacionado com maior absorção de água e de nutrientes minerais, em soja (TAVARES et al., 2007), em cenoura (ALMEIDA et al., 2009) e em algodão (LAUXEN et al., 2010). Além disto, segundo CASTRO et al. (2007), estudando TMX em mutantes de tomateiro, concluíram que o mesmo não possui atividade de giberelina, de auxina ou de citocinina. No entanto, esse comportamento pode variar entre espécies (MACEDO & CASTRO, 2011).

O comportamento desse produto foi dependente da cultivar, pois para Irga 425 houve um crescimento equivalente entre raiz/parte aérea, inclusive não diferindo de AG<sub>3</sub>. E é esse resultado que influenciou a resposta do teste de germinação, pois TMX produziu uma plântula

de crescimento uniforme. Aparentemente, HAF também ocasionou esse efeito de uniformidade, uma vez que não houve crescimento de um dos órgãos de forma isolada, mais seu desenvolvimento aparenta ser mais lento, o que se reflete em menor velocidade de germinação.

Em campo, os resultados foram influenciados pelo sistema de cultivo utilizado. Quando conduzido em sistema convencional, os resultados de estande inicial foram reflexo da resposta obtida em laboratório, com melhor desempenho para TMX na cultivar Irga 425 e ausência de resposta para Irga 424 (Tabela 1). Para o sistema pré-germinado, no entanto, o comportamento da cultivar Irga 425 foi modificado, com menor estande para o tratamento com AG<sub>3</sub>. Nesse ponto, dois fatores foram determinantes para essa resposta: (1) as diferenças entre os sistemas; (2) e o efeito de AG<sub>3</sub> sobre o sistema radicular. Em função do alagamento prévio a sementeira do arroz, alterações em relação à nutrição e a condição ambiental a qual a semente fica exposta no período inicial de germinação determinam diferenças importantes no estabelecimento da cultura. A manutenção de uma lâmina de água na área ocasiona alterações químicas e físicas no solo. As alterações de caráter químico resultam no processo de “auto calagem” que conduzem a redução do solo (VAHL, 1999). Consequentemente, o pH é elevado para uma condição mais favorável de crescimento e inúmeros nutrientes são disponibilizados para a absorção pelas plântulas (RANNO et al., 2007; FAGERIA et al., 2011). Além disto, a água tem papel termorregulador nesse sistema, evitando quedas acentuadas de temperatura ou elevação da mesma (Figura 2). Uma condição de melhor fertilidade e temperatura mais elevada tornam a plântula menos exposta a estresses nesse ambiente. Por outro lado, a manutenção da lâmina de água dificulta a fixação das plântulas de arroz, as quais podem desprender-se do solo, comprometendo o estabelecimento inicial da cultura. Como mencionado anteriormente, o excessivo alongamento do mesocótilo das plântulas de arroz, ocasionado pela aplicação de AG<sub>3</sub> pode comprometer o desenvolvimento do sistema radicular das mesmas. Associando-se essa característica a estresses causados pela ação dos ventos e da chuva podem ser provavelmente, as causas para a redução no estande inicial do tratamento com AG<sub>3</sub>.

A maior estatura no tratamento com AG<sub>3</sub> foi observada apenas no estágio V1, para a cultivar Irga 425, no sistema pré-germinado, enquanto que no sistema convencional, os sintomas de estiolamento foram observados nas duas cultivares, até V4 (Tabela 2). A diferença básica está na temperatura do ambiente para estabelecimento (Figura 2). As temperaturas mais baixas observadas no sistema convencional podem induzir a uma redução de quase 50% no conteúdo endógeno de ácido giberélico nas plantas, quando entre 11 e 18°C, o que

consequentemente ocasiona em aumento da sensibilidade às aplicações exógenas de  $AG_3$ , acarretando um excessivo alongamento foliar (SINGH & PALEG, 1984; PINTHUS et al., 1989) em função da potencialização da dose utilizada.

Além do aumento em estatura, o efeito de  $AG_3$  se refletiu no resultado de massa seca (Tabela 2) e colmos planta<sup>-1</sup> (Tabela 1). O estresse causado na planta atrasou a emissão de novas folhas, retardando o crescimento vegetativo, resultando em menor acúmulo de massa seca nesse tratamento. O efeito foi mais pronunciado no sistema convencional, permanecendo até o estágio V5, para a cultivar Irga 425. Esse efeito de maior estatura e menor acúmulo de massa disponibilizou maior espaço entre uma planta e outra. A maior quantidade de área disponível no dossel vegetativo estimula o perfilhamento do arroz (PRABHA et al., 2011). Esse fato estimulou a emissão de colmos, nos dois sistemas de cultivo estudados. Além disto, KARIALI & MOHAPATRA (2007) sugerem que  $AG_3$  tem efeito positivo sobre a emissão de colmos no arroz irrigado, pois influencia no balanço hormonal entre as citocianinas e ácido indol acético. Paralelo a isso, HAF parece ser eficiente em estimular o perfilhamento das duas cultivares de arroz, independente do sistema utilizado. Reflexo desse resultado foi o maior acúmulo de massa seca até o estágio V5. Esse produto possui uma constituição basicamente orgânica, rico em nutrientes, principalmente nitrogênio, que é determinante na emissão de colmos em gramíneas (ZHENG et al., 2008). Com isso, há incremento na biomassa vegetal.

Os componentes de rendimento foram afetados pelo uso dos produtos (Tabela 3). Para o número de panículas m<sup>-2</sup> houve incremento em relação à testemunha. Porém, cada cultivar respondeu de forma diferenciada dentro de cada sistema. No sistema convencional, para Irga 424,  $AG_3$  apresentou 15% a mais de panículas que os demais tratamentos. Esse resultado é reflexo direto do resultado de perfilhamento, onde os perfilhos férteis produzem panículas (YOSHIDA, 1981). No sistema pré-germinado, o  $AG_3$  foi acompanhado de TMX, com um acréscimo de 11% de panículas quando comparado à testemunha. Para a cultivar Irga 425, todos os produtos proporcionaram 22% a mais de panículas que a testemunha, resultado que se repetiu no sistema pré-germinado, inclusive com a mesma amplitude de incremento.

Apesar da influência dos produtos persistir até a pré-colheita, não houve diferenças estatísticas no rendimento, nos dois sistemas testados. Isso porque, provavelmente, as diferenças nos componentes foram compensadas, seja pelo maior peso de mil grãos ou pela influência no número de grãos/panícula, em alguns tratamentos. Segundo Yoshida (1981) o peso de mil grãos é um caráter varietal estável, pois o tamanho de grão é rigidamente

controlado pelo tamanho da casca. Chama atenção o resultado de esterilidade, onde AG<sub>3</sub> apresentou uma alta porcentagem de espiguetas estéreis, no sistema pré-germinado, para Irga 424. Esse efeito de AG<sub>3</sub> já foi relatado em estudos anteriores (KARIALI & MOHAPATRA, 2007), os quais esclarecem que essa elevada esterilidade é proveniente dos perfilhos terciários, pois o AG<sub>3</sub> induz o crescimento da planta-mãe e dos perfilhos primários, os quais tornam-se responsáveis por reduzir a partição da biomassa entre os perfilhos terciários.

## **Conclusão**

Os produtos utilizados apresentam maior influência sobre as plantas cultivadas no sistema convencional. Esse efeito é dependente da cultivar utilizada. Ácido giberélico causa efeitos negativos no desempenho agrônômico das cultivares. Tiametoxam e Haf Plus<sup>®</sup> estimulam o perfilhamento das cultivares de arroz, nos dois sistemas de cultivo e, apesar de todos os produtos utilizados ter influencia positiva sobre os componentes do rendimento, não há influencia na rendimento de grãos nos dois sistemas utilizados.

## **Referências bibliográficas**

ALMEIDA, A.S. et al. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de cenoura. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.3, p.87-95, 2009.

ALMEIDA, A.S. et al. Bioativador no desempenho fisiológico de sementes de arroz. **Revista brasileira de sementes**, v.33, n.3, p. 501-510, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 390 p.

CASTRO, P.R.C. et al. Análise da atividade reguladora de crescimento vegetal de tiametoxam através de biotestes. **Publicatio**, v.13, n.13, p.25-29, 2007.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, n.40, 436-443, 2000.

CRUZ, R.P, da.; DUARTE, I.T.L.;CABREIRA, C. Inheritance of rice cold tolerance at the seedling stage. **Science Agricola**, v.67, n.6, p.669-674, 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.

FAGERIA, N. K. et al. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability, v.42, n.16, p.1913-1933, 2011.

FAROOQ, M. et al. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. **Soil & Tillage Research**, v.111, p.87-98, 2011.

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

GAZZONI, D.L. Hormônios vegetais. In: GAZZONI, D.L. **Tiametoxam: Uma revolução na agricultura brasileira**. 1 ed., São Paulo: Vozes. 2009.

HORII, A.; MCCUE, P.; SHETTY, K. Enhancement of seed vigour following insecticide and phenolic elicitor treatment. **Bioresource Technology**, v.98, p. 623–632, 2007.

ISMAIL, A.M. et al. Mechanisms associated with tolerance for flooding during germination and early seedling growth in rice (*Oryza sativa* L.). **Annals of Botany**, v.103, p.197-209, 2009.

KARIALI, E; MOHAPATRA, P.K. Hormonal regulation of tiller dynamics in differentially-tillering rice cultivars. **Plant Growth Regulation**, v.53, p. 215-223, 2007.

KÜLEN,O. et al. Gibberellic Acid and Ethephon Alter Potato Minituber Bud Dormancy and Improve Seed Tuber Yield. **American Journal of Potato Research**, v.88, n.2, p. 167-174, 2011.

LAUXEN, L.R.; VILLELA, F.A.; SOARES, R.C. Desempenho fisiológico de sementes de algodoeiro tratadas com tiametoxam. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.3, p. 061-068, 2010.

LAURETTI, R.L.B. et al. Efeitos de diferentes manejos de água no estabelecimento de plantas de arroz no sistema pré-germinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1093-1099, 2001.

LEITE, V.M; ROSOLEM, C.A.; RODRIGUES, J.D. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. **Scientia Agricola**, v.60, n.3, p. 537-541, 2003.

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

MARCHEZAN, E et al. Desempenho de genótipos de arroz irrigado cultivados no sistema pré-germinado com inundação contínua. **Ciência rural**, v. 34, n.5, p. 1349-1354, 2004.

MARCHEZAN, E. et al. Manejo da irrigação em cultivares de arroz no sistema pré-germinado. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p.45-50, 2007.

PRABHA, A.C.S.; TIYAGARAJAN, T.M.; SENTHIVELU, M. System of rice intensification principles on growth parameters, yield attributes and yields of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agronomy**, v.10, n.1, p.27-33, 2011.

PINTHUS et al. Effect of Temperature on Gibberellin (GA) Responsiveness and on Endogenous GA<sub>1</sub> Content of Tall and Dwarf Wheat Genotypes. **Plant Physiology**, v.90, p.854-859, 1989.

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, n.1, p.15-21, 2010.

RANNO, S.K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, n.1, p. 21-28, 2007.

RAYORATH, P. et al. Extracts of the Brown Seaweed *Ascophyllum nodosum* induce gibberellic acid (GA<sub>3</sub>)-independent amylase activity in barley. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 27, n.4, p. 370-379, 2009.

SILVA, R.H. et al. Estabelecimento de plantas e rendimento de grãos de duas cultivares de arroz no sistema pré-germinado. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1413-1418, 2002.

SOSBAI- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**, 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188p.

SINGH, S. P.; PALEG, L.G. Low-temperature-induced GA<sub>3</sub> Sensitivity of Wheat. V. Sterol Conversions in the Wheat Aleurone Tissue during Imbibition. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.12, n.5, p.549-555, 1984.

TAVARES, S. et al. Avaliação dos efeitos fisiológicos de tiametoxam no tratamento de sementes de soja. **Revista de Agricultura**, v.82, n.1, p.47-54, 2007.

TINARELLI, A. **El arroz**. 2ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1989. 575p.

VAHL, L.C. **Fertilidade de solos de várzea**. In: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa/CPACT, 1999. p. 119-162.

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

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

ZHENG Y.; et al. Effect of Nitrogen Applied before Transplanting on Tillering and Nitrogen Utilization in Rice. **Acta Agronomica sinica**, n.3, 2008.

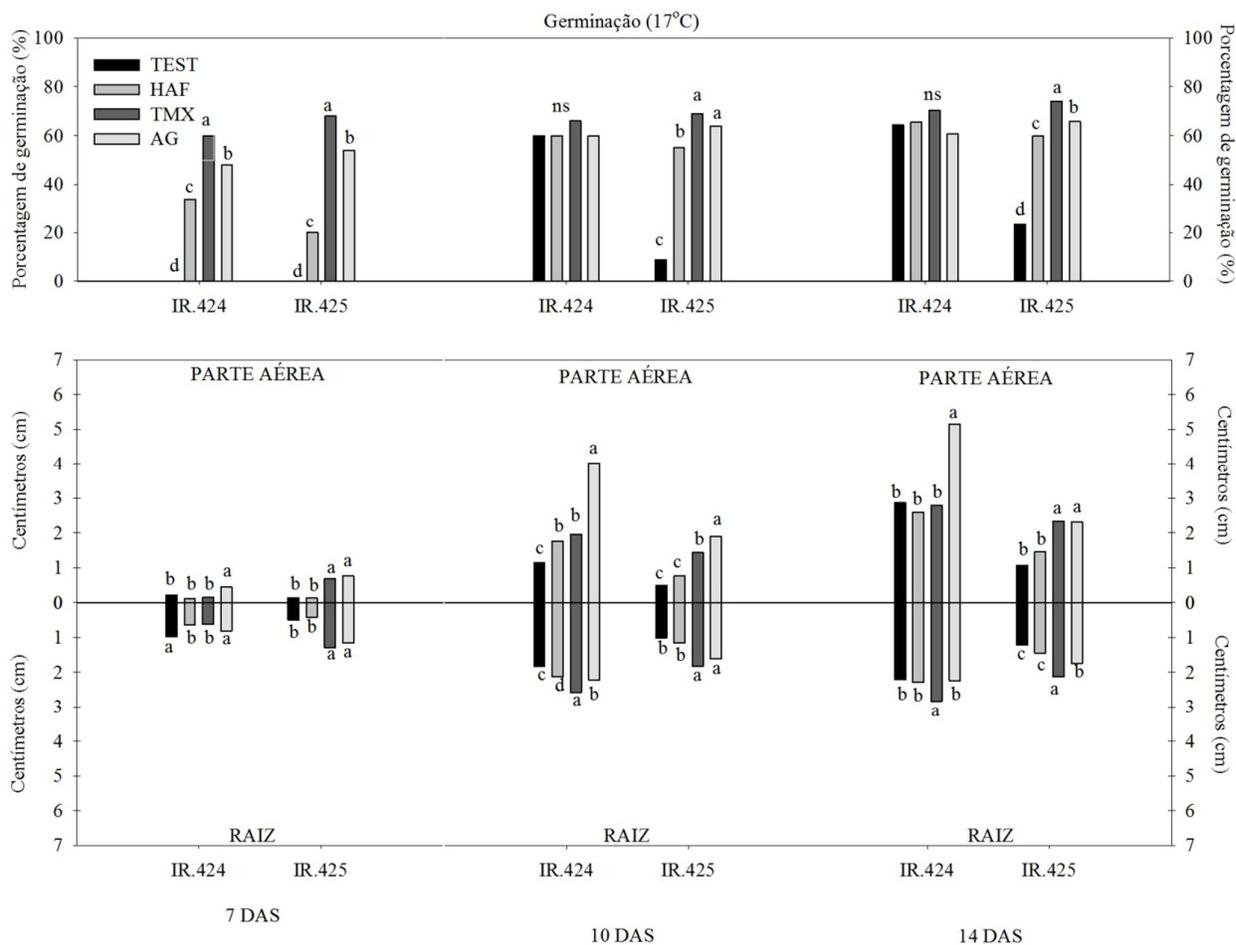


Figura 1- Germinação e comprimento da parte aérea e raiz das cultivares de arroz Irga 424 e Irga 425 submetidas ao tratamento de sementes com substâncias com efeito de regulador de crescimento, ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) realizados aos 7, 10 e 14 dias após a semeadura (DAS) na temperatura de 17°C. Santa Maria, Brasil, 2012.

Tabela 1- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado ao uso de ácido giberélico (AG3), Haf Plus® (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) semeadas em diferentes sistemas de semeadura de arroz irrigado (convencional e pré-germinado) quanto ao estande inicial e número de colmos planta<sup>-1</sup>. Santa Maria, Brasil, 2012.

Trat	Estande Inicial				Colmos planta <sup>-1</sup>					
			V4 <sup>2</sup>		V5		V7		V9	
	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425
	----- Sistema convencional -----									
Test	333 <sup>ns</sup>	327 <sup>ns</sup> c <sup>1</sup>	1,7Ab	1,0Bb	1,7 <sup>ns</sup> b	1,5 <sup>ns</sup> b	3,6Ab	2,6Ba	4,0A <sup>ns</sup>	2,5Bb
TMX	312B	484Aa	1,6Ab	1,1Bb	2,4Aa	1,5Bb	4,0Ab	1,9Bb	4,2A	1,9Bc
Haf	308 <sup>ns</sup>	346 <sup>ns</sup> c	1,4 <sup>ns</sup> b	1,5 <sup>ns</sup> a	2,4 <sup>ns</sup> a	2,3 <sup>ns</sup> a	4,3Aa	2,9Ba	4,2A	2,8Ba
AG <sub>3</sub>	353B	431Ab	2,3Aa	1,2Bb	2,5Aa	1,8Bb	4,6Aa	2,8Ba	3,6 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup> a
Média	322	381	1,5	1,2	2,4	1,6	4,0	2,6	3,9	2,7
C.V.(%)	9,2		15,6		13,3		8,9		10,9	
	----- Sistema pré-germinado -----									
Test <sup>1</sup>	184B <sup>ns</sup>	248Aa	2,8A <sup>ns</sup>	2,1B <sup>ns</sup>	5,0Aa	2,4Bb	6,7Ab	3,5Bb	7,8Ab	4,1Bc
TMX	200B	251Aa	2,5 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	3,4Ac	3,0Ba	6,9Ab	4,4Ba	7,7Ab	5,1Bb
Haf	149B	219Aa	2,8A	2,1B	4,8Aa	2,5Bb	7,4Aa	5,0Ba	8,8Aa	5,4Bb
AG <sub>3</sub>	172 <sup>ns</sup>	176 <sup>ns</sup> b	2,9A	1,9B	3,9Ab	3,2Ba	7,3Aa	4,8Ba	8,8Aa	6,6Ba
Média	182	229	2,7	2,0	4,2	2,8	7,2	4,4	8,0	5,0
C.V.(%)	13,2		10,0		9,0		7,8		8,0	

<sup>1</sup>/Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott (P≤0,05); Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os produtos dentro da coluna da cultivar e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as colunas das cultivares; ns: médias não significativas;<sup>2</sup>/ Escala fenológica do arroz irrigado segundo escala de COUNCE et al., (2000).

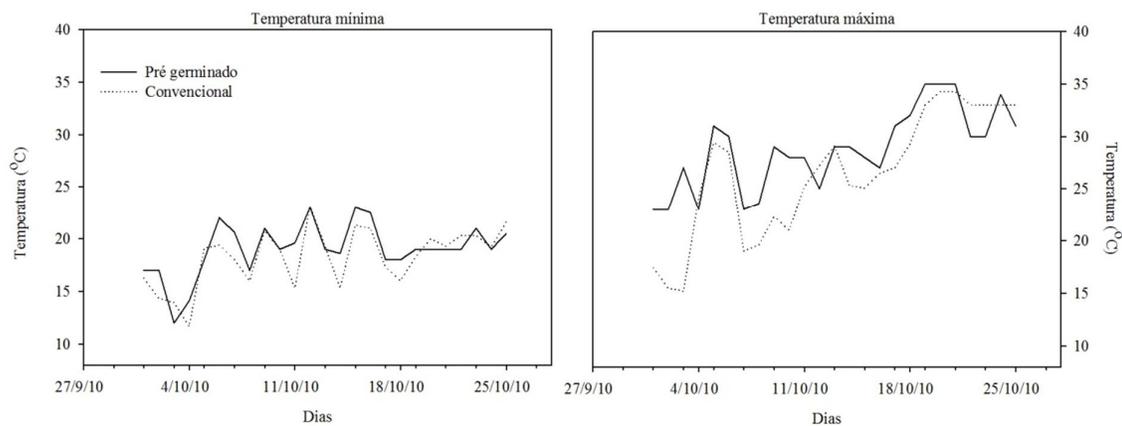


Figura 2- Temperatura mínima e máxima, em °C, nos dois sistemas de semeadura, convencional e pré-germinado, desde o dia da semeadura (01/10) até o estágio V2 (25/10). Santa Maria, Brasil, 2012.

Tabela 2- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado ao uso ácido giberélico (AG3), Haf Plus (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) aplicados em diferentes sistemas de semeadura de arroz irrigado (convencional e pré-germinado) quanto a estatura e produção de massa seca. Santa Maria, Brasil, 2012.

Tratamentos	Estatura de plantas							
	V1 <sup>2</sup>		V3		V4		V5	
	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425
----- Sistema convencional -----								
TEST	8,3 <sup>nsb</sup> / <sup>1</sup>	8,2 <sup>ns</sup>	9,4 <sup>nsb</sup>	10,3 <sup>nsb</sup>	16,2 <sup>nsb</sup>	16,1 <sup>ns</sup>	25,1 <sup>nsa</sup>	24,3 <sup>nsb</sup>
TMX	7,5 <sup>nsb</sup>	8,9 <sup>ns</sup>	8,7Ab	11,5Bb	14,0Ac	17,8B	22,6Bb	25,4Aa
HAF	7,8 <sup>nsb</sup>	8,4 <sup>ns</sup>	10,6Ab	12,3Ba	18,1 <sup>nsb</sup>	20,3 <sup>ns</sup>	23,0Bb	26,9Aa
AG <sub>3</sub>	12,4Aa	10,1B	17,8Aa	12,8Ba	21,9Aa	17,6B	25,6Ba	22,9Ab
Média	9,0	8,9	11,6	11,7	17,5	17,9	24,1	24,9
C.V.(%)	13,4		11,0		13,5		6,8	
----- Sistema pré-germinado -----								
TEST	13,3 <sup>ns</sup>	13,8 <sup>nsb</sup>	21,3 <sup>ns</sup>	20,5 <sup>ns</sup>	22,4Ab	20,4Bb	30,9 <sup>nsb</sup>	30,9 <sup>nsb</sup>
TMX	14,9	15,7a	22,0	21,2	25,7a	24,4 <sup>a</sup>	34,3 <sup>a</sup>	33,7a
HAF	14,6	14,0b	22,2	21,8	23,4b	23,7 <sup>a</sup>	32,4b	32,1b
AG <sub>3</sub>	15,0	13,6b	21,4	20,9	22,0b	22,7 <sup>a</sup>	31,5b	33,1a
Média	14,5	14,3	21,7	21,1	23,4	22,8	32,3	32,4
C.V.(%)	9,2		4,0		4,4		3,1	
----- Massa seca de plantas -----								
----- Sistema convencional -----								
TEST	31A <sup>ns</sup>	27Bc <sup>/2</sup>	75 <sup>nsa</sup>	79 <sup>nsb</sup>	160A <sup>ns</sup>	141Bc	469Bc	734Ac
TMX	30B	42Aa	59Bc	94Aa	143B	206Aa	437Bc	954Ab
HAF	31 <sup>ns</sup>	34 <sup>nsb</sup>	64Ba	89Aa	157B	226Aa	608Bb	1190Aa
AG <sub>3</sub>	30 <sup>ns</sup>	33 <sup>nsb</sup>	45 <sup>nsa</sup>	48 <sup>nsa</sup>	162 <sup>ns</sup>	177 <sup>nsb</sup>	1162Aa	717Bc
Média	30	34	60	77	155	187	669	899
C.V.(%)	10,2		10,5		15,0		14,0	
----- Sistema pré-germinado -----								
TEST	22 <sup>nsb</sup>	22 <sup>nsb</sup>	60 <sup>nsa</sup>	68 <sup>ns</sup>	121B <sup>ns</sup>	153A <sup>ns</sup>	632 <sup>ns</sup>	601 <sup>nsb</sup>
TMX	26Aa	23Bb	60 <sup>nsa</sup>	56 <sup>ns</sup>	103B	141 <sup>a</sup>	579 <sup>ns</sup>	574 <sup>nsb</sup>
HAF	22 <sup>nsb</sup>	22 <sup>nsb</sup>	64 <sup>nsa</sup>	64 <sup>ns</sup>	114 <sup>ns</sup>	126 <sup>ns</sup>	651B	834Aa
AG <sub>3</sub>	19Bc	30Aa	43Bb	61A	135 <sup>ns</sup>	136 <sup>ns</sup>	535 <sup>ns</sup>	569 <sup>nsb</sup>
Média	22	24	57	62	118	139	599	644
C.V.(%)	7,9		10,0		15,3		11,7	

<sup>1</sup>Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05); Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os produtos dentro da coluna da cultivar e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as colunas das cultivares; ns: médias não significativas; <sup>2</sup>Estádios fenológicos do arroz irrigado segundo escala de COUNCE et al., (2000).

Tabela 3- Resposta de duas cultivares de arroz irrigado ao uso de ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), Haf Plus<sup>®</sup> (HAF), tiametoxam (TMX) e testemunha com água (TEST) semeadas em diferentes sistemas de semeadura de arroz irrigado (convencional e pré-germinado) quanto ao estande inicial, número de colmos planta<sup>-1</sup>, panículas/m<sup>2</sup> e rendimento, Santa Maria, Brasil, 2012.

Trat	Panículas m <sup>-2</sup>		Produtividade		PMG		NGP		Esterilidade	
	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425	Irga 424	Irga 425
----- Sistema convencional -----										
TEST	668Ab <sup>1</sup>	500Bb	10.645 <sup>ns</sup>	10.122 <sup>ns</sup>	24,1B <sup>ns</sup>	26,6Aa	68Bb	79Ab	10,2 <sup>ns</sup> a	10,4 <sup>ns</sup>
TMX	682Ab	594Ba	11.126 <sup>ns</sup>	10.729 <sup>ns</sup>	24,3 <sup>ns</sup>	25,0 <sup>ns</sup> b	67Bb	95Aa	9,0Ba	10,5A
HAF	643 <sup>ns</sup> b	612 <sup>ns</sup> a	10.974 <sup>ns</sup>	10.001 <sup>ns</sup>	24,3 <sup>ns</sup>	24,3 <sup>ns</sup> b	92Aa	73Bb	5,4Bb	11,3A
AG <sub>3</sub>	787Aa	612Ba	11.331A	9.341B	24,9B	26,1Aa	85Aa	67Bb	5,3Bb	9,7A
Média	694	571	11.019	10.050	24,4	25,5	78	78	7,5	10,5
C.V.(%)	9,0		8,5		3,1		10,4		5,5	
----- Sistema pré-germinado -----										
TEST	896Ab	626Bb	9.686A <sup>ns</sup>	7.789B <sup>ns</sup>	24,6B <sup>ns</sup>	27,8Ab	85Ab	62B <sup>ns</sup>	8,5 <sup>ns</sup> b	7,8 <sup>ns</sup> a
TMX	985Aa	731Ba	9.562A	8.120B	24,8B	29,0Aa	75 <sup>ns</sup> b	65 <sup>ns</sup>	7,9Ab	5,7Bb
HAF	795 <sup>ns</sup> c	728 <sup>ns</sup> a	9.417A	7.474B	25,0B	28,8Aa	92Ab	70B	5,3Bc	6,9Aa
AG <sub>3</sub>	997Aa	759Ba	9.144A	7.916B	24,3B	27,9Ab	84Ab	66B	13,4Aa	4,4Bb
Média	897	703	9.452	7.825	24,7	28,4	84	66	8,8	6,2
C.V.(%)	7,5		6,1		2,5		9,0		4,3	

<sup>1</sup>Letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott (P≤0,05); Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de letras minúsculas referem-se à comparação entre os produtos dentro da coluna da cultivar e de letras maiúsculas referem-se à comparação entre as colunas das cultivares; ns: médias não significativas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que há influência marcante do ambiente e, frequentemente, as condições predominantes durante a semeadura e o desenvolvimento inicial das plantas são completamente diferentes das verificadas durante a condução das análises de germinação que produzem a informação sobre o potencial de desempenho das sementes.

Os reguladores de crescimento foram eficientes em estimular o potencial fisiológico do arroz irrigado em condição de temperatura baixa e em ambiente controlado. Houve influência marcante da cultivar utilizada, sendo que cultivares mais sensíveis ao frio, como Irga 424, são menos responsivas às aplicações dos diferentes produtos. Parte dessa resposta positiva dos reguladores de crescimento esta atrelada à ocorrência de condições de estresse, sendo consequência da atuação dos produtos no sistema antioxidante das plantas, de forma a estimular a atividade de enzimas reativas ao oxigênio, como a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT), predominantemente na parte aérea das plântulas, evitando a formação de radicais livres ( $H_2O_2$ ) e assim, os efeitos deletérios decorrentes do estresse por frio.

Dentre os reguladores de crescimento utilizados, o ácido giberélico demonstrou ser o mais eficiente na interferência no processo germinativo em relação às diferentes condições e ambientes do estudo, as quais as sementes foram expostas durante o trabalho. Porém, apresentou situações com resultados negativos, como menor germinação em sementes de menor qualidade (Capítulo I), excessiva produção de peróxido ( $H_2O_2$ ) nas raízes (Capítulo II), intenso alongamento da parte aérea em campo (Capítulo III), ou inibição do crescimento das raízes (Capítulo IV), efeitos decorrentes da temperatura baixa. Para tiametoxam e Haf Plus® os resultados positivos estiveram estritamente correlacionados a cultivar utilizada e, assim como para ácido giberélico, apresentaram resultados negativos em determinadas situações.

As diferenças de vigor entre as amostras, relatadas em ambiente controlado, não foram suficientemente amplas para que se manifestassem em condições de campo, em relação ao estabelecimento da lavoura. Mesmo assim, alguns efeitos positivos do uso dos reguladores de crescimento foram verificados no desempenho agrônômico do arroz irrigado, aumentando sua participação à medida que as condições do ambiente tornavam-se menos favoráveis, como em uma época antecipada de semeadura ou em sistema de cultivo convencional. Apesar dessas contribuições durante o ciclo do arroz, não houve nenhum efeito positivo sobre a produção de grãos, em nenhuma das condições ambientais testadas.

Mediante essas informações, a tomada de decisão dentro do manejo da lavoura orizícola torna-se condicionada ao custo de produção e a semeadura em um período propício a ocorrência de temperaturas baixas. Ainda assim, não há garantias de resposta sobre o estado da lavoura, pois essa é grandemente influenciada pelo ambiente e dificilmente haverá alguma contribuição sobre o rendimento.

Os próximos passos da pesquisa envolvendo o arroz irrigado deve se concentrar na transformação efetiva dos resultados encontrados em laboratório para o campo, para que o emprego desses produtos na lavoura orizícola torne-se economicamente viável.