**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Ação de reguladores vegetais em trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada
(*Hordeum vulgare* L.)**

Julian Alejandro Giraldo Murcia

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2016**

Julian Alejandro Giraldo Murcia
Engenheiro Agrônomo

Ação de reguladores vegetais em trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.)

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **PAULO ROBERTO DE CAMARGO E CASTRO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Giraldo Murcia, Julian Alejandro

Ação de reguladores vegetais em trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.) / Julian Alejandro Giraldo Murcia. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
60 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Ácido abscísico 2. Etil trinexapac 3. Daminozide 4. Ethephon 5. Cloreto de chlormequat 6. Reguladores vegetais 7. Cereais I. Título

CDD 633.11
G516a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo,

A meu pai Edgar Giraldo e Cecilia Saavedra por seus incentivos e apoios em todos os momentos, à minha querida mãe Shirley Murcia pelo seu carinho e apoio incondicional e a todos meus irmãos Sergio, Santiago, Gustavo Adolfo e Felipe, e tios Yalile Murcia e Cesar Murcia,

A meus avós Tito e Luz Mila (in memoriam) pela educação, amor e ensinamentos,

Ao meu orientador Professor Dr. Paulo Roberto de Camargo e Castro, por ter aceitado orientar meu Mestrado aqui no Brasil.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo período de Bolsa de Estudos concedida.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq pelo período de Bolsa de Estudos concedida.

Ao Departamento de Ciências Biológicas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e à secretaria, Solizete,

A todos meus colegas e amigos que me ajudaram na instalação e monitoramento dos experimentos Lucas, Diego, Felipe, Valdinei, Sabrina, Bruno e James, muito obrigado.

A meus amigos Colombianos em especial ao Fredy, colega de casa pelo convívio e aprendizado,

A Diana Vásquez por seu apoio incondicional,

E a todos os que contribuíram de alguma forma e me auxiliaram durante o desenvolvimento do meu Mestrado.

MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Cultura do trigo (<i>Triticum aestivum</i> L).....	13
2.2 Cultura da cevada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	13
2.3 O acamamento em cereais	14
2.4 Retardadores vegetais.....	15
2.4.1 Ácido abscísico.....	17
2.4.2 Cloreto de chlormequat.....	19
2.4.3 Etil-trinexapac.....	20
2.4.4 Daminozide.....	21
2.4.5 Ethephon.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Local de instalação dos experimentos	23
3.2 Espécies utilizadas	24
3.3 Tratamentos utilizados	24
3.4 Instalação dos experimentos	25
3.5 Instalação do tratamento em Trigo.....	26
3.5.1 Tratamentos em Trigo	26
3.6 Instalação do experimento em cevada	27
3.6.1 Tratamentos em cevada	27
3.7 Colheita e análise dos dados	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Efeito de retardadores no desenvolvimento e produtividade do trigo e da cevada	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43

6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS.....	57

RESUMO

Ação de reguladores vegetais em trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.)

Os vegetais possuem metabólitos endógenos circulantes nos tecidos, que não necessariamente possuem função nutricional, mas atuam na regulação do crescimento e do desenvolvimento, os hormônios vegetais. Estes, quando utilizados exogenamente, permitem ações planejadas no crescimento das plantas. Igualmente, análogos sintéticos com ação semelhante vêm sendo utilizados na agricultura com o mesmo objetivo. No entanto, o efeito destes reguladores vegetais é variável entre as espécies e em suas fases fenológicas, com necessidade de estudos específicos que propiciem respostas adequadas aos objetivos de sua aplicação. Da mesma forma, encontramos também moléculas capazes de atuar na produção endógena de hormônios, limitando ou induzindo sua produção, afetando os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal. A aplicação de tais substâncias na agricultura pode ser benéfica no controle do crescimento vegetal, revertendo a energia produzida pela fotossíntese para a produção dos cultivos. Diversos cultivos, incluindo os de cereais, tendem a um crescimento vegetativo exagerado com o incremento do uso de fertilizantes, causando quedas de produtividade e problemas na colheita devido ao acamamento das plantas. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar as alterações morfológicas e fisiológicas do uso de reguladores vegetais na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) e da cevada (*Hordeum vulgare* L.), visando redução do porte das plantas sem alterações ou com incremento de produção. Os experimentos foram desenvolvidos com ambas espécies de cereais, semeadas em vasos. As aplicações dos tratamentos foram realizadas no início da fase de alongamento do colmo. Nos experimentos, foram avaliados os efeitos da pulverização foliar de diferentes reguladores vegetais que restringem a síntese de giberelina na planta: ácido abscísico (ABA), etil trinexpac (Moddus), daminozide (SADH), ethephon (Ethrel) e cloreto de clormequat (CCC). Foram avaliadas variáveis relacionadas ao retardamento do crescimento vegetativo e à produção de carboidratos, assim como a produção das plantas tratadas, tais como: altura das plantas, índice SPAD, transpiração, condutância estomática e massa seca do caule e espigas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativos, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A pulverização de ABA, SADH e Ethrel diminuiu significativamente a massa seca do colmo e promoveu retardamento do crescimento, no entanto, a aplicação de ABA aumentou significativamente o índice de colheita, assim como a massa seca dos grãos. Tratamentos com duas pulverizações de ABA 24 g L⁻¹, com uma semana de intervalo restringiu o alongamento da planta, melhorando a arquitetura da mesma, o teor de clorofila e as trocas gasosas, nas culturas de trigo e cevada, estimulando incremento de 23% na massa seca dos grãos de trigo e de 33% em cevada; assim sendo, a aplicação deste retardante de crescimento pode ser considerada para ser utilizada em lavouras de cereais.

Palavras-chave: ABA; Moddus; SADH; Ethrel; CCC; Cereais

ABSTRACT

Effect of plant growth regulators in wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

Plant tissues contain circulating endogenous metabolites which not necessarily play nutritional function but can regulate growth, plant hormones, that can be also exogenously applied for planned effects in plant growth. These molecules when sprayed on plants allow desirable effects on the plant growth. Moreover, synthetic analogues with similar action have been used in agriculture for the same purpose. However, the effect of growth regulators is variable among species and their phenological stages, requiring specific studies that provide appropriate responses to their application. Similarly, there are also capable of acting on endogenous hormone production, limiting or stimulating their biosynthesis and consequently affecting the processes of growth and plant development. The application of such molecules in agriculture can be beneficial in controlling the plant growth, reversing the energy produced by photosynthesis for that growth to agronomic yield of crops. Several crops, including cereals, tend to respond with excessive vegetative growth to the increase of fertilizer application causing productivity decreases and damages to the crop due to the plant lodging. Thus, the present study was carried out to evaluate the morphological and physiological changes by the use of plant growth regulators on wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.), aiming the reduction of the plant size and increases of productivity. The experiments were conducted with both cereal species sown in pots. The applications of the treatments were performed at the beginning of stem elongation stage. The effects of foliar application of different plant growth regulators that restrict the gibberellin synthesis in the plant were evaluated: Abscissic acid (ABA), trinexapac-ethyl (Moddus), Daminozide (SADH), Ethephon (Ethrel), and chlormequat chloride (CCC). The following variables were measured: plant height, SPAD index (indirect chlorophyll content), transpiration, stomatal conductance, and dry mass of stems and spikelets. The data were analyzed by the Tukey test at 5% probability level. The spray with ABA, SADH, and Ethrel decreased significantly the dry mass of the stem and promoted growth retardation (plant height). However, the application of ABA increased significantly the harvest index, as well as the dry mass of the grains. Treatments with two sprays of ABA (24 g L^{-1}), with an interval of a week restricted the plant growth in height improving the architecture thereof, chlorophyll content, and gas exchange, resulting in an increment of 23% and 33% in dry matter of grains of wheat and barley, respectively. Therefore, the application of ABA may be considered as an alternative for improving the productivity of cereal crops.

Keywords: ABA; Moddus; SADH; Ethrel; CCC; Cereals

1 INTRODUÇÃO

As culturas de cereais são de alta importância na alimentação da população brasileira, sendo o trigo (*Triticum aestivum* L.), o mais relevante dos grãos de cereais, já que fornece um alimento muito nutritivo, constituindo-se como base da alimentação humana (WHEAT FLOUR INSTITUTE, 1966). Em ordem de importância econômica e social no mundo, a cevada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa o quinto lugar atrás do arroz, milho, trigo e soja. No Brasil, a malteação tem sido a principal aplicação econômica da cevada. Em média, 75% do volume da cevada produzida anualmente é aproveitado na fabricação de malte e 95% deste é destinado para fins cervejeiros (DE MORI; MINELLA, 2012).

Tendo em vista a importância destas culturas para atender à crescente demanda mundial por alimentos, existem muitos fatores que influenciam na produtividade, como por exemplo, a incidência de pragas, plantas invasoras, doenças, manejo da fertilidade e tratos culturais que podem provocar desenvolvimento excessivo (HATSCHBACH; BORTOLOTTI; CAPITANIO, 2004)

O emprego de grandes quantidades de fertilizantes visando aumento na produtividade, em muitos casos, fazem com que as plantas aumentem seu crescimento, e o risco de acamar e como consequência, diminuam a produtividade (HEDDEN, 2003). O uso de alguns reguladores vegetais sintéticos (retardantes) podem ser utilizados para reduzir o crescimento da parte aérea das plantas, sem diminuir a produtividade (NAFZIGER; WAX; BROWN, 1986). Eles atuam geralmente restringindo a atividade da giberelina endógena, promovendo o encurtamento de entrenós dos colmos e provocando consequentemente, uma redução na altura das plantas (RADEMACHER, 2000). Entre eles podemos citar: ABA, Moddus, SADH e Ethrel.

A redução do tamanho da planta traz benefícios como aumento no rendimento de grãos, aparentemente derivam do aumento da partição de assimilados para desenvolver as espigas como consequência da redução da demanda no crescimento do caule e folhas. Isto reduz o aborto floral pré-antese das flores distais na espiga e aumenta o número total de flores viáveis na antese (YOUSSEFIAN; KIRBY; GALE, 1992), além de prevenir o acamamento.

Neste sentido, Este estudo teve como objetivo avaliar as alterações fisiológicas, no crescimento, na produtividade da cultura do trigo e da cevada com uso de reguladores vegetais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do trigo (*Triticum aestivum* L)

O trigo está entre os mais antigos cereais cultivados, tendo se originado há mais de 10.000 anos, na antiga Mesopotâmia. É uma cultura destinada principalmente à alimentação humana e tem na sua composição proteínas, carboidratos, gorduras, elementos minerais e vitaminas (CASTRO et al., 2008). Diante de sua importância alimentícia, o trigo tem atualmente uma utilização de 772.800.000 toneladas e uma produção de 712.701.000 toneladas (FAO, 2014), o que gera uma produtividade média de 2,9 t ha⁻¹, alimentando mais da metade da população mundial (LONG; ORT, 2010).

A China e a França atingem produtividades médias de 4 e 7 t ha⁻¹, respectivamente, com emprego de alta tecnologia, demonstrando potencial altamente superior em relação aos demais países (CASTRO et al., 2008).

O aumento do uso de fertilizantes e defensivos tem por objetivo a obtenção de maiores rendimentos da cultura, mas podem afetar o crescimento normal das plantas. O maior crescimento vegetativo faz com que as plantas se tornem instáveis e mais sensíveis ao acamamento, na presença de ventos fortes e chuva (HEDDEN, 2003).

2.2 Cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.)

A cevada, originária do Oriente Médio, possui uma produção anual de aproximadamente 140 milhões de toneladas, sendo que o cultivo deste cereal está concentrado nas regiões temperadas da Europa, Ásia e América do Norte (DE MORI; MINELLA, 2012). É empregada na alimentação humana na forma de malte, utilizado na fabricação de bebidas (cervejas e destilados), de alimentos e medicamentos, de farinhas ou flocos, destinadas à composição de produtos da alimentação infantil, de panificação (pães, doces e confeitados), de produtos dietéticos e de sucedâneos do café (DE MORI; MINELLA, 2012).

No Brasil, a cevada é cultivada quase que exclusivamente para fins cervejeiros, sendo seu cultivo concentrado nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (TONON, 1992).

O lançamento de cultivares adaptados às condições climáticas brasileiras foi fundamental para o cultivo da cevada no Brasil, que até então era considerado como de baixa qualidade malteira. Porém, esses cultivares apresentavam problemas agronômicos como suscetibilidade

ao acamamento e à doenças, como a mancha-em-rede, causada por *Pyrenophora teres* (CAIERÃO; MINELLA; ANTONIAZZI, 2006).

Em 2011, a área semeada de cevada no Brasil foi de 88,4 mil hectares com produção de 305,1 mil toneladas e rendimento estimado de 3.451,3 kg ha⁻¹. A produção brasileira está concentrada na região Sul. O consumo anual de malte pela indústria cervejeira está estimado em 1,3 milhão de toneladas, sendo que aproximadamente 85% desta demanda é suprida através de importações de grãos e malte da Argentina e do Uruguai, principais fornecedores. Do lado da exportação, observa-se uma expansão de exportação de cerveja nos últimos anos (DE MORI; MINELLA, 2012).

O Rio Grande do Sul (RS) participa com 40% da cevada produzida no País, e esse Estado apresenta rendimento médio de 2.432 kg ha⁻¹, 15% menor que a média nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

2.3 O acamamento em cereais

O acamamento é considerado uma modificação permanente na posição caulinar do colmo de gramíneas em relação à sua posição original, resultando em plantas recurvadas (PINTHUS, 1973). A curvatura das plantas, ocasionada pelo acamamento, mediante a presença de ventos fortes ou de chuva, diminui a seção transversal dos feixes vasculares destas, reduzindo portanto a movimentação de fotoassimilados da parte aérea em direção às raízes e, igualmente, dos nutrientes absorvidos através das raízes e transportados à parte aérea das plantas, em consequência, a produção das plantas é reduzida (LINZAMEYER JUNIOR et al., 2008).

Estudos indicam que o acamamento é considerado um fator determinante na redução do rendimento de grãos em até 60%, sendo maiores as perdas em variedades de porte alto, principalmente durante a fase reprodutiva (antese) (MARTINELLI; FEDERIZZI; BENNEDETI, 1994). O acamamento provoca ainda prejuízos decorrentes da dificuldade de colheita, devido à proximidade dos grãos do solo, e em função do aumento da umidade dos grãos (WIERSMA; OPLINGER; GUY, 1986). As espiguetas úmidas, predisõem a planta à incidência de doenças com decréscimo de produtividade e de qualidade dos grãos (TATNELL, 1995).

O acamamento também aumenta o auto-sombreamento das plantas, contribuindo para a redução no enchimento de grãos (JUNIOR et al., 2008). Por outro lado, plantas com entrenós mais curtos reduzem a tendência ao acamamento, possibilitando um aumento na produtividade dos cultivos (YOUSSEFIAN; KIRBY; GALE, 1992).

Desta forma, cultivares de trigo plantados na Europa, são pulverizados com inibidores da biossíntese de giberelina para a redução no alongamento do caule e do acamamento (TAIZ; ZEIGER, 2013). As diferenças entre os cultivares tendem a ser ofuscadas por fatores agronômicos, tais como, a densidade de plantas e a fertilidade do solo (NEENAN; SPENCER-SMITH, 1975).

Sabe-se que cultivares de porte alto, acamam com maior facilidade quando recebem doses elevadas de fertilizantes nitrogenados (RILEY; ORTIZ-MONASTERIO; MATSON, 2001; YU-HUA et al., 2007).

Assim, de modo geral, o acamamento tem sido normalmente controlado mediante restrição da aplicação de fertilizantes nitrogenados e uso de cultivares de porte baixo (RODRIGUES et al., 2003). A introdução de genes do nanismo tem sido igualmente utilizada com o objetivo de aumentar a resistência ao acamamento, e as consequentes reduções na demanda de fotoassimilados por parte do crescimento do caule, para contribuir com o aumento no índice de colheita (AUSTIN, 1982; PELTONEN, 1991).

2.4 Retardadores vegetais

Os retardantes de crescimento vegetal são compostos sintéticos utilizados para reduzir o crescimento longitudinal da parte aérea das plantas, sem ocasionar redução na produtividade. Em geral, restringem o alongamento celular, em função da inibição da atividade de giberelinas. Os retardantes vegetais promovem o encurtamento de entrenós dos colmos das gramíneas com consequente redução na altura das plantas (RADEMACHER, 2000).

Como consequência do decréscimo pela demanda para o crescimento vegetal, aumenta-se a partição de assimilados para o desenvolvimento das espigas, resultando em ganhos em produtividade. Este aumento na partição de assimilados reduz ainda o aborto pré-antese de flores distais das espigas e aumenta o número total de flores viáveis na antese (YOUSSEFIAN; KIRBY; GALE, 1992).

Fioreze (2011) sugeriu que a aplicação de um retardador de crescimento poderia causar mudanças na coloração das folhas. Estudos com essas substâncias em trigo, mostraram que as folhas tornam-se menores e mais verdes. De acordo com Khalil (1995), a aplicação de retardantes de crescimento em trigo e cevada apresentou o “efeito verde” (aumento da coloração verde da folha), que foi relacionado à compactação do crescimento. Além disso, inibidores da biossíntese de GAs estimularam a fotossíntese concomitantemente à redução do crescimento (THETFORD et al., 1995).

Altas densidades de plantas e elevadas doses de nitrogênio são fatores positivos para o aumento da produtividade, porém, podem resultar no acamamento da cultura, o que interfere negativamente na produção e na qualidade dos grãos. O uso de redutores de crescimento é uma prática difundida com sucesso na Europa, onde o Moddus tem-se mostrado efetivo na redução da altura dos cereais de inverno, evitando o acamamento (AMREIN; RUFENER; QUADRANTI, 1989; KERBER; LEYPOLDT; SEILER, 1989).

De acordo com Zagonel et al. (2002), a aplicação de retardantes de crescimento em plantas de trigo com uma dosagem alta de nitrogênio, com alta densidade de plantas, produziu indivíduos com: entrenós mais curtos, incremento da produtividade, aumentou o diâmetro do caule, aumentou a massa seca das plantas e diminuiu o número de grãos por espiga, porém, o número de espigas por m² e o peso de mil grãos aumenta, sem apresentar acamamento e sem afetar a produtividade.

A introdução de genes do nanismo tem sido utilizado com o objetivo de aumentar a resistência ao acamamento, e as consequentes reduções na demanda de fotoassimilados por parte do crescimento do caule, para contribuir com o aumento no índice de colheita (AUSTIN, 1982; PELTONEN-SAINIO, 1991).

O rendimento de grãos em cereais tem demonstrado alterações marcantes na estrutura de suporte da planta, especialmente aumento da proporção de grãos em detrimento da massa vegetativa da parte aérea (PELTONEN-SAINIO, 1990), que é denominado índice de colheita. O índice de colheita é equivalente à proporção da biomassa dos grãos (sementes) para toda a massa da planta [peso de grãos / (peso dos órgãos vegetativos + peso de grãos)] (XU; FAN; MILLER, 2012).

Segundo Syme (1970), o rendimento de grãos no trigo foi altamente correlacionado com o índice de colheita e com o número de grãos definidos em relação ao peso da palha. O rendimento em grãos e a proporção de água poderiam ser melhorados por um aumento na eficiência da transpiração ou por um aumento no índice de colheita, embora a relação de produção de biomassa sobre a transpiração tem mostrado, ser razoavelmente constante para uma dada espécie, em um determinado clima (EHLERS; GOSS, 2003).

A produção de biomassa vegetal está linearmente ligada à quantidade de água transpirada, e a maior eficiência no uso da água, que muitas vezes é compensada em relação a uma menor produção de biomassa (YANG et al., 2004).

Um sistema de gestão de água e/ou nitrogênio pode aumentar a taxa de crescimento durante o crescimento dos grãos e/ou melhorar a remobilização dos assimilados de tecidos vegetativos para os grãos durante o período de granação; geralmente levando a um maior

índice de colheita da cultura (JU et al., 2009; YANG et al., 1999). Em muitas situações, o índice de colheita está intimamente associado com a eficiência do uso da água e com o rendimento de grãos, como no trigo e no arroz (YANG et al., 2007; ZHANG et al., 2008). Aumentar a força do dreno, melhorando a absorção de assimilados, pode ser uma estratégia para aumento no rendimento da produção de grãos (XU; FAN; MILLER, 2012).

2.4.1 Ácido abscísico

ABA é um hormônio vegetal conhecido por ser responsável pelo fechamento estomático sob condições limitantes de água. Neste caso, durante o secamento do solo, as raízes podem enviar sinais para a parte aérea, e tais sinais estarão controlando as respostas à limitação de água (WILKINSON; DAVIES, 2002), uma vez que a raiz em contato direto com o solo seco, ser um local lógico para a percepção à seca. De acordo com Davies, Kudoyarova e Hartung (2005) experimentos com divisão de raízes (onde parte do sistema radicular se deixa secar enquanto a outra parte é mantida molhada- raiz dividida) e pressurização de raízes (que permite as raízes secarem mas mantém a turgescência da parte aérea), forneceram evidências de que há um sinal químico movido desde a raiz até a parte aérea das plantas, para regular o fechamento estomático e evitar a perda de água dos tecidos vegetais (DAVIES; KUDOYAROVA; HARTUNG, 2005).

A biossíntese do ABA ocorre nos cloroplastos e outros plastídios, e é carregado para dentro do xilema ou floema, sendo que presume-se que a função do transporte de ABA, verifica-se através de longas distancias no tecido vascular ou localmente, através da membrana plasmática, para regular a concentração de ABA nas células-guarda dos estômatos e assim controlar a abertura estomática; entretanto tem sido reportado que a síntese do ABA nas mesmas células-guarda é suficiente para o fechamento estomático em resposta à baixa umidade (BAUER et al., 2013).

Como mencionado, o maior efeito fisiológico deste hormônio vegetal é o fechamento dos estômatos das plantas, o que inevitavelmente permite uma redução na assimilação fotossintética do dióxido de carbono. Posto que, a assimilação de dióxido de carbono é o principal dreno para a absorção da luz pela folha, uma diminuição na assimilação de dióxido de carbono pode expor as plantas potencialmente a um excesso de energia de excitação, que não se dissipa, podendo resultar em um dano para o fotossistema II, por uma excessiva produção nos centros de reação.

De fato, tem sido reportado que o ABA induz o fechamento estomático, resultando em aumento na susceptibilidade aos danos, os quais podem ser associados com o desmembramento das membranas do tilacóide e ruptura dos envelopes dos cloroplastos (JIA; LU, 2003). Por outra parte, nem sempre quando há um fechamento estomático observa-se um resultado negativo para a planta.

Montaldi (1995) considera que quando há um fechamento parcial dos estômatos, a taxa de transpiração diminui mais do que a fotossíntese, resultando em um melhor equilíbrio entre a perda de água por transpiração e a captação de dióxido de carbono.

O ABA também tem um papel na proteção do ciclo das xantofilas e do aparelho fotossintético do estresse foto-oxidativo (DU et al., 2010); como por exemplo, a aplicação exógena de ABA nas plântulas de cevada resultou em aumento das concentrações de carotenoides e xantofilas (IVANOV et al., 1995). Igualmente plântulas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), beterraba (*Beta vulgaris* L.) e milho (*Zea mays*) pré-tratadas com ABA, demonstraram aumento nas concentrações de clorofila e carotenoides (HAISEL et al., 2006). Os carotenoides e a clorofila são derivados provenientes do metileritritol fosfato (MEP) ou da rota do mevalonato, sendo que o ABA pode atuar aumentando os níveis de ambos no tecido foliar; por outro lado, em plântulas de tabaco tratadas com ABA aumentaram as concentrações da clorofila total e betacarotenos (POSPISILOVA et al., 1994). Os conjuntos de carotenoides reduzem a sensibilidade às condições adversas para a planta sob estresse (LI; VALLABHANENI; WURTZEL, 2008), sendo que estes são considerados os principais desativadores de oxigênio singlete em cloroplastos e clorofilas, protegendo-os de danos oxidativos (RAMEL et al., 2012). Portanto, a aplicação exógena do hormônio pode ser uma forma de melhorar a resposta da planta às condições de estresse, assim como o ABA exógeno aumentou o rendimento em trigo cultivado em campo aliviando o estresse temporário de água, favorecendo a sua assimilação para uma melhor alocação de fotoassimilados, melhorando a granação (TRAVAGLIA et al., 2007, 2010).

A aplicação de ABA (ABA) em níveis crescentes, promove aumento da expressão de fatores de transcrição ABI e de proteínas DELLA (PISKUREWICZ et al., 2008). As proteínas DELLA são reguladoras negativas da resposta à giberelina (GA). Para que ocorra a resposta, é necessário que estas proteínas sejam destruídas de uma forma dependente de GA. A proteína GID1 se liga às proteínas DELLA, na presença de GA, direcionando-as ao complexo SCF para que ocorra o processo de ubiquitinação e consequente destruição nos proteossomos. A degradação das proteínas DELLA libera a repressão dos genes dependentes de GA (CHOW;

MCCOURT, 2006). Dessa forma, o ABA reprime o crescimento da planta por aumentar o nível das proteínas repressoras das respostas à GA.

Como por exemplo, a modificação no porte da planta de trigo traz benefícios como aumento no rendimento de grãos pela melhoria no índice de colheita. Isto significa a alocação de maior quantidade dos produtos da fotossíntese para os grãos. Variedades modernas de trigo possuem índice de colheita superior a 50%, com um aumento acentuado a partir da introdução de variedades de pequeno porte (EVANS, 1998).

O ABA possui papel contraditório na planta: a regulação de tolerância ao estresse abiótico e o retardamento no crescimento (SREENIVASULU et al., 2012). Outros reguladores vegetais como os retardadores de crescimento, são aplicados em várias culturas para reduzir o crescimento indesejado da parte aérea sem diminuir a produtividade da planta. Em cereais cultivados de forma intensiva, os reguladores vegetais tornaram-se parte integrante do sistema de produção (SCHMIDERER et al., 2010).

2.4.2 Cloreto de chlormequat

O CCC, também conhecido como cloreto de cloro colina, é um retardador do crescimento vegetal que atua inibindo a enzima copalil difosfato, impedindo a ciclização do geranilgeranil difosfato em copalil difosfato na via de biossíntese da GA (RADEMACHER, 2000). O CCC é altamente móvel, tanto pelo xilema quanto pelo floema, sendo rapidamente absorvido e translocado (LORD; WHEELER, 1981; KUST, 1986). A molécula é altamente solúvel em água (CATHEY; STUART, 1961) e passivamente absorvida por todos os tecidos da planta, permitindo que as aplicações por pulverização sejam eficazes (TOLBERT, 1960).

A aplicação de CCC resulta em plantas com entrenós mais curtos e mais grossos e folhas verdes escuras (TOLBERT, 1960). Para a restrição do crescimento é necessário aplicar concentrações mínimas do biorregulador (BIRECKA, 1967). Concentrações excessivamente altas podem resultar em severa clorose marginal ou manchas cloróticas nas folhas por efeito do amônio (ARMITAGE, 1994). CCC tem sido extensivamente usado desde 1960, prevenindo acamamento em cultivos de cereais e controle do crescimento das culturas em casas de vegetação (MA; SMITH, 1992), sendo que aplicação de cloreto de chlormequat reduz a altura do colmo e a fitomassa total (COX; OTIS, 1989).

2.4.3 Etil-trinexapac

O Moddus representa uma classe química de reguladores vegetais pertencentes ao grupo das acilciclohexanedionas. Como a maioria dos retardadores de crescimento, o Moddus atua na inibição da biossíntese de GA, mas essa inibição ocorre no final da síntese, na conversão de GAs inativas para GAs ativas, adiante da inibição por chlormequat ou por triazóis (RADEMACHER, 2000; HAFNER, 2001). A inibição leva a uma redução do alongamento dos entrenós, e portanto, produz uma planta mais compacta e mais resistente (KERBER et al., 1989; ADAMS et al., 1992). Além destes benefícios, na safra seguinte, a aplicação deste produto, não afeta a produção de perfilhos, altura das plantas ou diâmetro de colmos, por não apresentar uma ação residual nos solos.

O Moddus impede o acamamento das plantas não só pela redução da altura, mas também pelo fortalecimento do caule e estruturas da raiz. O composto parece ter pouca influência no processo fotossintético (HENDERSON et al., 1991). O Moddus também diminui a produção de matéria seca, mas aumenta o diâmetro do caule, o número de espigas por m² e a produção de grãos (ZAGONEL et al., 2002).

O mecanismo de ação do Moddus está relacionado com a inativação da enzima GA20 3β-hidroxilase, devido a competição entre o regulador vegetal e o 2-oxogluterato pelo co-substrato Fe²⁺/ascorbato-dependente dioxigenase, reduzindo o nível de giberelinas ativas, principalmente GA1 (ADAMS et al., 1992). Moddus atua numa etapa posterior, a partir do GA12-aldeído, inibindo a partir deste, a síntese de giberelinas de alta eficiência biológica, como: GA1, GA3 (pouco comum em plantas superiores), GA4, GA7, GA9, GA20 e outras. Dessa forma, em função da ação desse composto, as plantas têm dificuldade na formação dessas giberelinas ativas e passam a sintetizar e acumular giberelinas biologicamente menos eficientes, como: GA8, GA17, GA19, GA24 entre outras, o que leva, na prática, à drástica redução no alongamento celular (crescimento), sem causar deformação morfológica dos colmos (NAQVI, 1994).

O principal efeito observado em cereais de inverno (trigo e cevada) de acordo com Espindula et al. (2010), é a inibição temporária do alongamento celular, resultando na redução do comprimento dos entrenós e folhas, redução de porte e, conseqüentemente, redução de acamamento. O efeito e duração são relativos à dose aplicada e à fase de desenvolvimento da cultura no momento da aplicação, sendo mais visível nos cereais de inverno no estágio de emissão da inflorescência, pela redução dos entrenós e pedúnculos (ESPINDULA et al., 2010).

Um dos problemas enfrentados na cultura do trigo é a possibilidade frequente de acamamento das plantas, em função do porte alto dos cultivares semeados no sul do Brasil, em função da densidade de semeadura e da necessidade do uso de elevadas doses de nitrogenados em cobertura, para atingir níveis de produtividade economicamente compensadores. Desta forma, o uso de Moddus tem sido indicado por permitir encurtamento dos entrenós das plantas e consequente redução do porte e da possibilidade de acamamento (NASCIMENTO, 2008).

Para possibilitar o adensamento e até mesmo maior aporte de nitrogênio, o uso de retardantes de crescimento vem ganhando destaque na triticultura. A prática vem sendo utilizada na Europa, onde ocorre o emprego do ingrediente ativo (i.a) Moddus, que tem se mostrado efetivo na redução da altura das plantas de trigo e cevada, evitando o acamamento (ZAGONEL et al., 2002).

2.4.4 Daminozide

A SADH, age inibindo a síntese de GA, reduzindo a divisão e o alongamento celular, sem ser fitotóxica. É comumente usada para reduzir a altura da parte aérea de culturas e plantas ornamentais. O efeito retardador da SADH é resultado da competição com o co-substrato da enzima GA20 oxidase, o ácido 2-oxoglutarico (RADEMACHER, 2000).

2.4.5 Ethephon

O Ethrel interfere mais precocemente na biossíntese da giberelina, paralisando a produção das demais giberelinas (SHEPARD; DIPOLA, 2000). O Ethrel encontra-se em equilíbrio entre as formas monoaniônica e dianiônica, quando em solução aquosa. Em pH 9, a forma dianiônica é predominante e o diânion tem decomposição. Esta decomposição permite a liberação do etileno, fosfato e cloreto (BIDDLE et al., 1976). Ethrel foi considerado útil para a diminuição da altura das plantas e subsequentemente, redução do acamamento (TRIPATHI et al., 2003). O etileno pode ainda atuar modulando a atividade das proteínas DELLA, a acumulação desta classe de proteínas reduzindo a sinalização dos níveis de giberelina bioativa. Atua sobre as DELLAS através da via de resposta do etileno CTR-1-dependente, provavelmente regula negativamente o fator de transcrição EIN3 (ACHARD et al., 2007). Em

ervilha (*Pisum sativum* L.), o etileno inibe o transporte de auxina em caules (BURG; BURG, 1966; SUTTLE, 1988).

Existem vários exemplos de aplicações de Ethrel em cevada, resultando em diminuição do acamamento: as aplicações de Ethrel ($1,4 \text{ g L}^{-1}$) reduziram a altura entre 15% para o cultivar Steptoe e 13% para Unitan (DAHNOUS et al., 1977). Aplicações de Ethrel $2,4 \text{ g L}^{-1}$ reduziram a altura das plantas e o acamamento para o cultivar de cevada ZGS 39, mas diminuiu o rendimento em até 27% em relação ao controle (MA; SMITH, 1992). Ethrel foi aplicado em plantas de cevada de $1,5$ a $3,0 \text{ g L}^{-1}$ nos cultivares Klages, Leduc e Bonanza, diminuindo o acamamento e a altura da planta (FOSTER; REID; TAYLOR, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de instalação dos experimentos

Os experimentos foram desenvolvidos no Horto Experimental do Departamento de Ciências Biológicas “Professor Walter Radamés Accorsi,” da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” localizado na latitude de 22°42'30"S e longitude de 47°38'00"W na cidade de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil. Os testes foram estabelecidos de maio a setembro de 2014 para a cultura do trigo (Figura 1) e de maio a agosto de 2015 para a cultura da cevada (Figura 2); com temperatura média de 23,7 °C e uma pluviosidade média anual de 1266,7 mm para o local (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, 2015).

Figura 1 - Dados climáticos de precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e temperaturas máximas, médias e mínimas na cultura do trigo, nas datas de 5 de maio de 2014 a 29 agosto de 2014, para o município de Piracicaba – SP.
DAE = dias após emergência.

Figura 2 - Dados climáticos de precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e temperaturas máximas, médias e mínimas na cultura da cevada nas datas de 26 de maio de 2015 a 28 de agosto de 2015. Dados coletados no Posto Meteorológico da ESALQ, Piracicaba – SP. DAE = dias após emergência.

3.2 Espécies utilizadas

Foram estabelecidos dois experimentos ao longo de 18 meses. Cada experimento foi desenvolvido com duas diferentes espécies de cereais: trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.). O cultivar de trigo selecionado para o experimento foi o Quartzo. Este cultivar possui um elevado potencial de rendimento, boa tolerância ao calor e bom nível de resistência à manchas foliares. O hábito vegetativo varia de intermediário à semiereto, possui perfilhamento médio, altura da planta média de 85 cm e resistência moderada ao acamamento, o que propicia sua escolha neste estudo.

O cultivar de cevada escolhido para este estudo foi o BRS Itanema. Este apresenta porte médio, chegando a 90 cm de altura e potencial produtivo de até 7.000 kg há⁻¹, seu ciclo é precoce com até 65 dias para o espigamento e 125 dias para a maturação, é moderadamente resistente à mancha reticular e suscetível ao oídio, mancha marrom e brusone.

3.3 Tratamentos utilizados

Nos experimentos, avaliou-se a pulverização foliar de diferentes reguladores de crescimento: ABA, Moddus, SADH, Ethrel e CCC, os quais atuam na restrição da síntese de giberelina nas plantas.

A solução de ABA utilizada no tratamento das plantas foi de 24 g L^{-1} (solução estoque 10% m/v S-ABA, forma biologicamente ativa, VBC-30101; Valent BioSciences, Libertyville, IL) pertencente a classe de regulador vegetal. Foi utilizada uma solução de 1 g L^{-1} de Moddus, sendo que a solução de SADH usada foi de 3000 mg L^{-1} de ácido succínico-2,2-dimetilhidrazida. Utilizou-se Ethrel na concentração de $0,4 \text{ g L}^{-1}$ de ácido 2-cloro etil-fosfônico. O CCC foi utilizado na dosagem de $1,5 \text{ g L}^{-1}$. A fonte foi o cloreto 2 - cloroetil trimetilamônio.

As aplicações dos tratamentos foram feitas no intervalo que compreende do término da fase de perfilhamento até a fase onde iniciam os estádios reprodutivos, visto que a aplicação de retardadores de crescimento têm como função inibir a síntese de GA. Devido ao fato de que inibir a biossíntese de GA na fase de perfilhamento poderia afetar esse estágio (LO et al., 2008), ou na fase reprodutiva poderia causar defeitos na floração (KING; EVANS, 2003). Portanto, é importante manter os níveis ótimos de GAs bioativas para assegurar o crescimento e desenvolvimento normais, nestas fases das culturas.

3.4 Instalação dos experimentos

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 20 L, preenchidos com substrato de argila, areia e matéria orgânica na razão de 2:1:1. Foi realizada a adubação convencional recomendada para cada cultura.

O substrato foi nivelado e neste foram semeadas em cada experimento de cada espécie 15 sementes em cada vaso na profundidade de 2 cm. Realizaram-se irrigações convencionais periódicas e após a germinação e estabelecimento das plântulas, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas seis plantas por vaso. Cada vaso constituiu uma parcela experimental. Todo o desenvolvimento das plantas ocorreu na ausência de pragas, para maior controle experimental do ensaio.

Figura 3 – Linha do tempo da cultura do trigo com as aplicações dos reguladores e mensurações.

3.5 Instalação do tratamento em Trigo

As sementes de trigo foram semeadas no período que aparece na (Figura 1). Os vasos de trigo foram distribuídos inteiramente casualizados sendo que, os vasos foram constantemente irrigados, conservando-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo. As aplicações dos tratamentos foram pulverizações homogenias de cada regulador vegetal por tratamento a partir do dia 42 DAE e a segunda aplicação no dia 50 DAE como se apresenta na (Figura 3). Foram estabelecidos 6 tratamentos com 4 repetições perfazendo 24 parcelas, avaliando-se as seguintes variáveis: altura periódica das plantas, transpiração, condutância estomática, índice SPAD (teor indireto de clorofila), número de espiguetas, massa seca do caule e massa seca da parte aérea.

3.5.1 Tratamentos em Trigo

- T1: Controle, cultivo de trigo sem aplicação de regulador vegetal.
- T2: Duas aplicações (2x) de ABA 24 g L⁻¹ aos 42 e 50 DAE.
- T3: Uma aplicação (1x) de ABA 24 g L⁻¹ aos 42 DAE.
- T4: Duas aplicações de SADH 1 g L⁻¹ aos 42 e 50 DAE.
- T5: Duas aplicações de Moddus 3,5 g L⁻¹ aos 42 e 50 DAE.
- T6: Duas aplicações de CCC 15 g L⁻¹ aos 40 e 50 DAE.

Figura 4 - Linha do tempo da cultura do cevada com as aplicações dos reguladores e mensurações.

3.6 Instalação do experimento em cevada

As sementes de trigo foram semeadas no período que aparece na (Figura 2). Os vasos da cevada foram distribuídos inteiramente casualizados, tendo sido mantidos próximos a capacidade de campo para se avaliar as seguintes variáveis: altura periódica das plantas, transpiração, condutância estomática, índice SPAD (teor indireto de clorofila), massa da espiga, número de espiguetas, massa seca do caule, massa seca da parte aérea e índice de colheita. Foram estabelecidos 4 tratamentos com 5 repetições perfazendo 20 parcelas. As aplicações dos tratamentos foram pulverizações homogenias de cada regulador vegetal por tratamento a partir do dia 32 DAE e a segunda aplicação no dia 50 DAE como se apresenta na (Figura 4).

3.6.1 Tratamentos em cevada

T1: Controle, cultivo de cevada sem aplicação de regulador vegetal.

T2: Duas aplicações de SADH 1 g L^{-1} aos 32 e 50 DAE.

T3: Duas aplicações ABA 24 g L^{-1} ; aos 32 e 50 DAE.

T4: Duas aplicações de Ethrel $0,4 \text{ g L}^{-1}$ aos 32 e 50 DAE.

3.7 Colheita e análise dos dados

Determinações da altura (cm) foram realizadas semanalmente, a partir do dia da aplicação dos tratamentos, até se atingir a perda do efeito dos tratamentos (sem diferença significativa entre os tratamentos, no crescimento das plantas). As medidas foram tomadas a partir da superfície do solo até a extremidade da folha mais alta do colmo principal, obtendo-se a média de três plantas por vaso. As plantas selecionadas na parcela foram sempre medidas na mesma ordem.

Mensurações do teor de clorofila foliar foram realizadas com auxílio do clorofilômetro (SPAD 502, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan). As plantas foram selecionadas aleatoriamente dentro da parcela e as medidas foram obtidas na região mediana do limbo foliar da primeira folha totalmente expandida, com média de 6 leituras por vaso para se determinar o valor médio do índice SPAD (LOPEZ-BELLIDO; SHEPHERD; BARRACLOUGH, 2004).

O estado hídrico da planta foi monitorado por meio de determinações da resistência difusiva dos estômatos e da transpiração. As determinações das trocas gasosas foram realizadas pela manhã, no período das 8 às 10h, em folhas maduras situadas no terço superior das plantas da haste principal, com boa exposição solar. Para tanto, utilizou-se o Porômetro de equilíbrio dinâmico (LICOR, modelo LI-1600) e, paralelamente, monitorou-se a temperatura da folha (Tar), a umidade relativa do ar (UR%) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), através de sensores acoplados ao equipamento.

No fim do ciclo das culturas na fase de colheita (Figura 3 e 4), as espigas foram colhidas, e em seguida, foram acondicionadas em sacos de papel pardo (tipo Kraft®) e levadas à estufa por 72 h à 60°C, para a obtenção da massa seca dos grãos. Além disso, a massa seca da parte aérea vegetativa também foi determinada. Com as informações coletadas, pode-se determinar o índice de colheita através da fórmula:

$$\text{índ. de colheita} = \frac{\text{massa seca de grãos}}{(\text{massa seca da parte aérea vegetativa} + \text{massa seca de espigas})}$$

Os dados obtidos foram analisados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito de retardadores no desenvolvimento e produtividade do trigo e da cevada

As plantas de trigo apresentaram redução significativa da altura aos 58 dias após germinação (DAG) quando foram tratadas com ABA à concentração de 24 g L^{-1} (2x) (Figura 3). Estes dados estão de acordo com os obtidos por Du et al. (2013), que encontraram redução na altura das plantas tratadas com 10 mM de ABA. A diminuição na altura das plantas, observada no presente trabalho, evidencia o conhecido efeito do ABA de evitar a degradação dos repressores de crescimento, as proteínas DELLA (ACHARD et al., 2006), e, portanto, regulam negativamente a transcrição dos genes de resposta à giberelina (CHOW; MCCOURT, 2008). Dessa forma, o ABA restringe o crescimento da planta ao inibir a degradação das proteínas DELLA. Como se observa na Figura 3, o efeito de ABA ocorreu após a segunda aplicação. Diversas aplicações de ABA 10^{-4} M , em trigo, foram observadas causando restrição do crescimento inicial, mas finalmente resultaram em um curto período de atraso no desenvolvimento (HALL; MCWHA, 1980), sendo que em soja, pulverizações com ABA retardaram o alongamento do caule (SLOGER; CALDWELL, 1970). Os dados da Figura 3 sugerem que o efeito é cumulativo, pois as plantas tratadas com ABA (1x) não apresentaram redução significativa na altura.

Além do efeito observado com ABA, as plantas tratadas com SADH à concentração de 1 g L^{-1} apresentaram redução significativa da ordem de 20% na altura em relação ao controle (Figura 5). Estes resultados condizem com estudos encontrados na literatura em outras culturas; por exemplo, plantas de girassol tratadas com SADH (4 g L^{-1}) mostraram redução de 17% na altura em relação ao controle (WHIPKER; DASOJU, 1998), sendo que aplicações de SADH (5 g L^{-1}) reduziram o alongamento do caule em *Hibiscus radiatus* (WARNER; ERWIN, 2003). SADH evita principalmente a oxidação do GA_{20} à GA_1 , impedindo assim a síntese de giberelina (RADEMACHER, 2000).

Figura 5 - Altura do trigo aos 58 DAG. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Aos 42 DAG (Figura 6), observa-se que as plantas de cevada exibiram redução significativa na altura de 13 a 16 % quando foram tratadas com ABA e Ethrel respectivamente; no entanto, uma semana depois (Figura 7), o tratamento com ABA não apresentou diferença significativa na altura. Segundo Hall e Mcwha (1980), aplicações de ABA em trigo, embora inicialmente inibissem o crescimento, finalmente resultaram em um curto período de atraso no desenvolvimento; por outro lado, o etileno continuou aumentando a diferença até 16% em relação ao controle. O ABA está envolvido na inibição do crescimento (FIRN, 1992), mas este efeito é mantido por pouco tempo. Já o Ethrel foi considerado útil para a diminuição na altura das plantas e subsequentemente, para a redução do acamamento (TRIPATHI et al., 2003). A redução observada pelo tratamento com Ethrel ocorre da seguinte maneira: o Ethrel quando é pulverizado sofre uma decomposição liberando etileno, fosfato e cloreto (BIDDLE et al., 1976). Etileno inibe o movimento descendente da auxina no caule, possivelmente reduzindo a síntese de GA no entrenó (MUDAY; RAHMAN; BINDER, 2012). Em caules de ervilha, verificou-se que o etileno reduz o número de transportadores do efluxo de auxina, inibindo assim seu transporte (BURG; BURG, 1966; SUTTLE, 1988). Em cevada, aplicações de Ethrel de $1,4 \text{ g L}^{-1}$ reduziram a altura em 15% para o cultivar Steptoe e 13% para Unitan (DAHNOUS et al., 1977). Aplicações de Ethrel $2,4 \text{ g L}^{-1}$ reduziram a altura das plantas e o acamamento no cultivar de cevada ZGS 39, mas diminuiu o rendimento em até 27%, comparativamente ao controle (MA; SMITH, 1992). Ethrel foi aplicado em plantas de cevada a $1,5$ e $3,0 \text{ g L}^{-1}$ e promoveu nos cultivares Klages, Leduc, e cevada 'Bonanza' redução do acamamento e da altura da planta (FOSTER; REID; TAYLOR, 1991). Cevada

tratada com Ethrel diminuiu o acamamento e a altura sem nenhum efeito no rendimento quando aplicado a $1,4 \text{ g L}^{-1}$, mas diminuiu o rendimento em 6% quando aplicado a $2,8 \text{ g L}^{-1}$ (NAFZIGER; WAX; BROWN, 1986).

Figura 6 - Altura da cevada aos 42 DAG. Os valores das barras são médias ($n=4$), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$)

Figura 7 - Altura da cevada aos 50 DAG. Os valores das barras são médias ($n=4$), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$)

A aplicação do retardador de crescimento pode causar mudanças na coloração das folhas. Em trigo, foi observado que as folhas tornam-se menores e mais intensamente verdes (FIOREZE, 2011). Segundo Khalil (1995), a aplicação de reguladores vegetais em trigo e cevada apresentam “efeito tônico” (aumento da coloração verde na folha), que foi relacionado com a compactação do crescimento. Além disso, inibidores da biossíntese de giberelinas estimularam a fotossíntese e reduziram o crescimento do caule (THETFORD et al., 1995).

As Figuras 8 e 9 apresentam os valores SPAD que estimam o conteúdo de clorofila por determinação da intensidade da cor verde nas folhas por meio de uma leitura não destrutiva (SENA JÚNIOR, 2005). Na Figura 8 o tratamento com SADH promoveu índice SPAD significativamente maior. Estudos com aplicações de SADH ($0,5 \text{ g L}^{-1}$) em *Coriandum sativum* L, identificaram redução significativa na altura, com aumento significativo no total de clorofila (KOFIDIS; GIANNAKOULA; ILIAS, 2008). Em girassol (*Helianthus annuus* L.) aplicações de SADH 2 ,4 ,6 e 8 g L^{-1} aos 15 e 30 dias depois da semeadura, reduziram a altura da planta e aumentaram o índice relativo de clorofila das folhas no decorrer do tempo tempo (BERNARDO et al., 2014). Aplicações de SADH em *Impatiens hawker* afetaram o conteúdo de clorofila, o qual tendeu a ser aumentado na concentração mais elevada do agroquímico (SEUNGWOO; KYUNGHEE, 2000). Aplicações de reguladores vegetais com SADH em *Viola x wittrockianas* aumentaram significativamente a clorofila total foliar (GLIOŽERIS; TAMOŠIŪNAS; ŠTUOPYTĖ, 2007). Na Figura 9 os tratamentos com ABA e Ethrel promoveram valores de índice SPAD significativamente maiores, em relação ao controle e a SADH. Em alguns trabalhos em cevada, o ABA na concentração 10^{-5} M promoveu aumento de 122% na quantidade total de carotenoides e xantofilas (IVANOV et al., 1995). O ABA foi evidenciado por atuar na rota MEP (metileritritol fosfato) e promover aumento de carotenoides e clorofila no tecido foliar, esta afirmação coincide com o trabalho apresentado por Pospisilova et al. (1994) que relataram altas concentrações de betacarotenos em plântulas de tabaco tratadas como ABA; por outro lado o ABA apresentou uma redução no comprimento do caule, além de aumento no conteúdo da clorofila total em *Andrographis paniculata* (GOMATHINAYAGAM et al., 2009). Segundo Barickman, Kopsell e Sams (2014), em folhas de tomateiro, os níveis de clorofila total tiveram aumento com o uso de SADH. Haisel et al. (2006), verificaram que plântulas de feijão, tabaco, beterraba e milho, pré-tratadas com ABA, mostraram aumento nas concentrações de clorofila e carotenoides; por outro lado, a aplicação foliar aos 60 DAG, de Ethrel 0,02% aumentou o conteúdo de clorofila em mostarda (*Brassica juncea* L.) (MIR et al., 2008). Pulverização com Ethrel 200 ppm em soja, manteve altos os níveis de clorofila a e clorofila b comparativamente ao controle (DEVI et al., 2011); sendo que aplicação de Ethrel 500 ppm em *Brassica napus* aumentou o conteúdo de clorofila total (GREWAL et al., 1993).

Além disso, os resultados das Figuras 5 e 8 e Figuras 7 e 9 mostraram que os tratamentos com SADH e com ABA e Ethrel respectivamente, retardaram significativamente o crescimento e apresentaram aumento significativo no conteúdo de clorofila na folha, o que evidencia que quando se retarda o crescimento das plantas, aparentemente, as folhas tornam-

se mais intensamente verdes.

Figura 8 - Índice SPAD do trigo aos 58 DAG. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$)

Figura 9 - Índice SPAD da cevada aos 46 DAG. Os valores das barras são médias (n=4), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$)

A transpiração foliar depende de dois fatores principais, o primeiro é a diferença de concentração de vapor de água entre os espaços intercelulares das folhas e a atmosfera externa, e o segundo a resistência à difusão nessa rota. As avaliações de transpiração e resistência difusiva dos estômatos nas plantas de trigo e cevada, resultaram em diferenças significativas. As plantas de trigo apresentaram redução significativa da transpiração, quando foram tratadas com ABA (2x) e aumento significativo quando tratadas com Moddus (Figura 10) e houve um aumento significativo da resistência difusiva quando foram tratadas com ABA (2x) e SADH (Figura 11). As plantas da cevada apresentaram aumento significativo na transpiração com relação ao controle, quando foram tratadas com Ethrel (Figura 12), e ocorreu aumento significativo no valor da resistência difusiva para as plantas tratadas com

ABA; similarmente, a pulverização de SADH 2500 ppm em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Harvester) promoveu uma redução da transpiração de 26%, comparada ao controle (BARRETT; NELL, 1981). Em crisântemo (*Dendranthema grandiflora*), duas aplicações foliares de SADH (2 g L⁻¹), não causaram efeito na transpiração (SCHUCH, 1994); sendo que SADH reduziu o uso da água e aumentou a resistência estomática em tomateiro (BARRETT; NELL, 1981; MISHRA; PRADHAN, 1972). Orton e Mansfield (1976) ratificaram que SADH inibe a abertura estomática em *Commelina communis* e *Xanthium strumarium*; Gikloo e Elhami (2012) verificaram que a aplicação de um antitranspirante, como a SADH, reduz a perda de água pelas plantas.

O mecanismo de ação de SADH no estômato, mostra inibição parcial da abertura estomática, similar ao efeito do ABA, mas altas concentrações de SADH causam danos nas células da epiderme (ORTON; MANSFIELD, 1976); sendo que a transpiração e a resistência difusiva estão diretamente relacionadas com a redução da altura e aumento do índice SPAD, indicando que a perda de água foi reduzida porque o uso da energia da luz para conduzir a processo de transpiração foi menor .

Pulverizações de ABA (1mM) foram realizadas em trigo aumentando a concentração de pigmentos fotossintéticos e fechamento estomático, causando diminuição na transpiração (TRAVAGLIA et al., 2010); o ABA em plântulas de trigo reduziu a transpiração (ABRAMS et al., 1997); ao passo que em mudas de tomate (*Solanum lycopersicum*) e pepino (*Cucumis sativus*) em vaso, diminuiu a transpiração, além de reduzir o crescimento (YAMAZAKI; NISHIJIMA; KOSHIOKA, 1995). O ABA aplicado nas folhas de batata, diminuiu significativamente a condutância estomática e a taxa de transpiração (BARICEVIC; STOPAR, 1994). Portanto, constata-se que o ABA é muito eficaz no fechamento estomático e seu acúmulo nas folhas exerce um importante papel na redução da perda de água. Segundo Tanaka et al. (2005), pulverizações com Ethrel, que libera o gás etileno, atrasam o fechamento estomático por inibição da via de sinalização do ABA.

A relação do etileno na regulação da abertura estomática não é clara. Em algumas espécies, o etileno promove abertura dos estômatos (LEVITT; STEIN; RUBINSTEIN, 1987), desta forma, aplicações de Ethrel 200 ul L⁻¹ em *Brassica juncea* L., aumentou a transpiração em 37% (MIR et al., 2010); por outro lado, plantas de tomate tratadas com 60 e 70 ppm de etileno apresentaram fechamento estomático (MADHAVAN; CHROMINISKI; SMITH, 1983), assim como em *Arabidopsis* sob tratamento com o mesmo biorregulador (DESIKAN et al., 2006).

Figura 10 - Transpiração do trigo aos 58 DAG. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 11 - Resistencia difusiva do trigo aos 58 DAG. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 12 - Transpiração da cevada aos 46 DAG. Os valores das barras são médias (n=4), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 13 - Resistencia difusiva da cevada aos 46 DAG. Os valores das barras são médias (n=4), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Nas plantas de trigo evidenciou-se redução na massa seca do colmo quando foram tratados com o ABA (2x) e SADH (Figura 14), e um incremento significativo da massa seca dos grãos quando foram pulverizadas com ABA (2x) com diminuição significativa no peso das espigas produzidas, em plantas tratadas com SADH (Figura 15). No experimento com cevada, todos os tratamentos apresentaram redução significativa na massa do colmo em relação ao controle (Figura 16); no entanto, o tratamento que evidenciou aumento significativo na massa das espigas foi com ABA; estes resultados conferem com Travaglia et al. (2010), onde a aplicação exógena de ABA 1mM na cultura do trigo de aumentou o peso dos grãos; o mesmo resultado foi obtido para o arroz com concentrações do 10^{-6} M (YANG et

al., 2003); também aplicações de ABA 15 mg L⁻¹ aumentaram a taxa de granação na cultura do arroz (YANG et al., 1998); e em soja (REINOSO; TRAVAGLIA; BOTTINI, 2011),

ABA exógeno manteve alta concentração de pigmentos fotossintéticos nas plantas de cevada (Figura 9), o que representa maior atividade da fotossíntese e, portanto incremento na produção de fotoassimilados armazenados no colmo e outros tecidos. Embora o ABA tenha aumentado, ocorreu fechamento estomático após a sua aplicação (Figuras 10, 11 e 13), promoveu efeito a longo prazo para permitir maior abertura do ostíolo do poro estomático, o que resultou em aumento da condutância de gases e vapor de água, mantendo melhor condutância estomática ao longo do dia (TRAVAGLIA et al., 2010). Este efeito poderia resultar em melhor balanço entre a perda de água por transpiração e a captação de dióxido de carbono, produzindo maiores taxas de fotossíntese ao longo do dia, em concordância com Montaldi (1995) que identificou que sob fechamento parcial dos estômatos, a taxa de transpiração diminui mais do que a fotossíntese.

Determinações de massa seca dos grãos e índice de colheita, nas duas culturas, apresentaram aumento significativo com duas pulverizações de ABA (Figuras 15, 17, 18 e 19), sendo este o melhor tratamento com efeitos positivos nos parâmetros de produtividade das duas culturas.

Esses resultados demonstram que melhorar a estrutura do dossel, poderia favorecer a atividade da fonte, a força de dreno e aumentar a remobilização de reservas de carbono pré-armazenado à partir dos tecidos vegetativos para os grãos.

A remobilização e transferência de assimilados armazenados em tecidos vegetativos para os grãos em plantas monocárpicas (trigo, arroz, cevada, etc) é requerido partir do início da senescência, na planta toda (GAN; AMASINO, 1997; NOODÉN; GUIAMÉT; JOHN, 1997).

Enchimento de grãos lento, frequentemente está associado com demora na senescência da planta (as plantas permanecem verdes quando os grãos deveriam amadurecer). Atraso na senescência é considerado como desfavorável, porque o ganho ao estender o período de enchimento de grão é menor do que o perdido na palha, devido a assimilados não utilizados (YANG; ZHANG, 2006).

ABA e citocininas são geralmente os dois maiores reguladores relacionados com a senescência da planta (NOODÉN; GUIAMÉT; JOHN, 1997; NOODÉN, 1988). Elevados níveis de ABA nos caules ou exsudados da raiz estão associados com o fracionamento pré-alimentação de carbono nos grãos; ácido abscísico foi significativa e positivamente correlacionado com a remobilização de carbono pré-armazenado e em consequência, a

remobilização foi aumentada por ABA exógeno (YANG et al., 2003, 2004).

Travaglia et al. (2007) observaram que aplicações de 300 mg L⁻¹ de ácido abscísico na fase inicial do alongamento do caule, foi refletida em um maior acúmulo de matéria seca na parte aérea; isto é associada com um aumento nos carboidratos solúveis, que em seguida, foram direcionados para o desenvolvimento dos grãos. Este efeito pode ser produto do maior teor de pigmentos que supostamente promovem eficiência fotossintética, resultados que têm relação com a Figura 7, onde o valor de índice SPAD aumentou significativamente no tratamento de ABA comparativamente ao controle.

Aplicações de ABA em trigo aumentaram o fechamento estomático imediatamente, mas o efeito a longo prazo foi de permitir uma maior abertura estiolar do estômato por mais tempo, este efeito pode resultar em um melhor balanço entre a perda de água por transpiração e a absorção de CO₂, produzindo maiores taxas fotossintéticas ao longo do dia (TRAVAGLIA et al., 2010). Pulverizações com ABA retardou o alongamento da planta (Figuras 3 e 4), massa seca do colmo (Figuras 12 e 14) e aumento a massa seca do grão (Figuras 13 e 15), proporcionando assim um maior índice de colheita (Figuras 16 e 17).

O rendimento de grãos em cereais tem demonstrado alterações marcantes na estrutura da planta, especialmente aumento da proporção de grãos em relação à massa vegetativa de parte aérea (PELTONEN, 1990), denominado índice de colheita.

Índice de colheita é uma medida do sucesso no particionamento de fotoassimilados. Melhoria do índice da colheita representa aumento na porção econômica da planta (HAY, 1995; SINCLAIR, 1998). Marri et al. (2005) verificaram que o índice de colheita foi negativamente correlacionado com a altura da planta, mas positivamente correlacionado com o número de espigas, porcentagem de espiguetas, fertilidade, peso de grãos e produção da planta de arroz.

Sabouri, Sabouri e Dadras (2009) verificaram correlação negativa do índice de colheita com a altura de planta e correlação positiva com o número de espigas e peso de grãos por panícula. No milho, o índice de colheita está negativamente correlacionado com a altura da planta, mas positivamente correlacionada com a produção de grãos (CAN; YOSHIDA, 1999). Em sorgo, o índice de colheita está negativamente correlacionado com a produção de forragem (MOHAMMAD et al., 1993), mas positivamente correlacionado com a taxa de crescimento e a taxa de granação (SOLTANI; REZAI; KHAJEH POUR, 2001).

O melhor tratamento neste trabalho foi a adoção de duas pulverizações de ABA com uma semana de intervalo entre elas, na concentração 24 g L⁻¹, na fase inicial de alongamento do colmo, ou seja, após a fase de perfilhamento. Tal tratamento promoveu melhoria de vários

fatores de produção nas culturas do trigo e cevada, aumentando a massa seca dos grãos em 23% para o trigo e em 33% para a cevada. Portanto, a utilização deste retardador de crescimento poderia ser adotada em lavouras de cereais.

Figura 14 - Massa seca do colmo (g) do trigo aos 93 DAG. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 15 - Massa seca dos grãos (g) de trigo aos 93 DAS. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 16 - Massa seca do colmo (g) da cevada aos 72 DAG. Os valores das barras são médias (n=4), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$)

Figura 17 - Massa seca dos grãos (g) da cevada aos 72 DAG. Os valores das barras são médias (n=4), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$)

Figura 18 – Índice de colheita do trigo aos 93 DAS. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 19 - Índice de colheita da cevada aos 72 DAG, Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns reguladores vegetais são utilizados para restringir o crescimento e reduzir o acamamento de cereais, sem interferir negativamente nos componentes de rendimento; ou seja, se não ocorrer desenvolvimento excessivo nem acamamento, a aplicação desses biorreguladores vai proporcionar resultados favoráveis, mas como se explicou anteriormente, alguns destes agroquímicos podem causar efeitos restritivos na produtividade.

Neste estudo, as aplicações de ABA, SADH e Ethrel apresentaram redução significativa na altura em relação ao controle, diminuíram a massa seca do colmo, podendo portanto serem tratamentos de efeitos positivos no manejo dos cereais. SADH não apresentou diferença significativa na altura e massa seca do colmo, sendo que reduziu significativamente a massa dos grãos na cultura da cevada.

Na cultura do trigo, com tratamento com SADH promoveu aumento no nível de clorofila; sendo que na cultura da cevada, ABA e Ethrel, mostraram incremento significativo no índice SPAD, por efeito da compactação da planta pela diminuição do alongamento do caule, que alterou a arquitetura da planta.

O tratamento com ABA (2x) na cultura do trigo, apresentou redução significativa da transpiração; sendo que os tratamentos com ABA e SADH promoveram aumento significativo na resistência difusiva dos estômatos. Para a cultura da cevada, os tratamentos com ABA e Ethrel causaram redução na transpiração; sendo que o tratamento com ABA promoveu incremento na resistência difusiva dos estômatos.

Na cultura do trigo, o tratamento com ABA (2x) mostrou aumento significativo na massa seca dos grãos, assim como no índice de colheita. Na cultura da cevada, as plantas tratadas com as duas pulverizações de ABA mostraram incremento significativo na massa seca dos grãos e no índice de colheita.

Esses resultados demonstram que melhorando-se a estrutura do dossel, pode-se aumentar a remobilização de fotoassimilados a partir da parte vegetativa da planta para a granação através do retardante de crescimento ABA (ABA).

Em função dos resultados obtidos neste trabalho podemos considerar que, o termo retardante de crescimento que utilizei para qualificar o ABA originou-se do modo de ação desse hormônio endógeno e biorregulador, isto é, o ABA evita a degradação das proteínas DELLA e, portanto, regula negativamente a transcrição dos genes de resposta à giberelina. Dessa forma, o ABA restringe o crescimento da planta por aumentar o nível das proteínas DELLA, diferentemente dos retardadores de crescimento que atuam diretamente na biossíntese de ácido giberélico, os quais restringem o desenvolvimento do meristema sub

apical. O ABA também atua diferentemente da hidrazida maleica, esse biorregulador um típico inibidor de crescimento que restringe o desenvolvimento do meristema apical.

6 CONCLUSÃO

Pulverizações com ABA promovem restrição no alongamento da planta, na massa seca do colmo; além de aumento na massa seca do grão; proporcionando assim um maior índice de colheita. Desta forma, o melhor tratamento verificado foi através dessas duas pulverizações com ABA na concentração 24 g L^{-1} , com uma semana de intervalo, na fase inicial de alongamento do colmo, ou seja, após o perfilhamento, melhorando a arquitetura da planta, o teor de clorofila e as trocas gasosas, nas culturas de trigo e cevada, estimulando incremento de 23% na massa seca dos grãos de trigo e de 33% em cevada; assim sendo, a aplicação deste retardante de crescimento pode ser considerado para ser utilizado em lavouras de cereais.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, S.R.; ROSE, P.A.; CUTLER, A.J.; BALSEVICH, J.J.; LEI, B.; WALKER-SIMMONS, M. 8 [prime]-methylene ABA (an effective and persistent analog of ABA). **Plant Physiology**, Bethesda, v. 114, n. 1, p. 89–97, 1997.
- ACHARD, P.; BAGHOUR, M.; CHAPPLE, A.; HEDDEN, P.; VAN DER STRAETEN, D.; GENSHIK, P.; HARBERD, N.P. The plant stress hormone ethylene controls floral transition via DELLA-dependent regulation of floral meristem-identity genes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 104, p. 6484–6489, 2007.
- ADAMS, R.; KERBER, E.; PFISTER, K.; WEILER, E.W. Studies on the action of the new growth retardant CGA 163'935 (cimectacarb). In: KARSSSEN C.M.; VAN LOON, L.C.; VREUGDENHIL D. **Progress in plant growth regulation**. Dordrecht: Springer, 1992. p. 818–827.
- AMREIN, J.; RUFENER, J.; QUADRANTI, M. The use of CGA 163'935 as a growth regulator in cereals and oilseed rape. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS, 1989, London. **Proceedings...** Nyon: Ciba Geigy, 1989. p. 2-12.
- ARMITAGE, A. M. Ornamental bedding plants, Wallingford, CAB international, 1994. p. 175.
- AUSTIN, R.B. Crop characteristics and the potential yield of wheat. **The Journal of Agricultural Science**, Newcastle, v. 98, n. 2, p. 447–453, 1982.
- BARICEVIC, D.; STOPAR, M. Influence of exogenous ABA (ABA) in potato cultivars Saskia and Desiree: photosynthetic activity in vivo. **Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani**, Ljubljana, v. 63, p. 57-62, 1994.
- BARICKMAN, T.C.; KOPSELL, D.A.; SAMS, C.E. ABA increases carotenoid and chlorophyll concentrations in leaves and fruit of two tomato genotypes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 139, n. 3, p. 261–266, 2014.
- BARRETT, J.E.; NELL, T.A. Transpiration in growth retardant treated poinsettia, bean and tomato. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Gainesville, v. 94, p. 85-87, 1981.
- BAUER, H.; ACHE, P.; LAUTNER, S.; FROMM, J.; HARTUNG, W.; AL-RASHEID, K.A.; MENDEL, R.R. The stomatal response to reduced relative humidity requires guard cell-autonomous ABA synthesis. **Current Biology**, London, v. 23, n. 1, p. 53–57, 2013.
- BIDDLE, E.; KERFOOT, D.G.; KHO, Y.H.; RUSSELL, K.E. Kinetic studies of the thermal decomposition of 2-chloroethylphosphonic acid in aqueous solution. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 58, n. 5, p. 700–702, 1976.
- BIRECKA, H. Translocation and distribution of ¹⁴C-labelled (2-chloroethyl) trimethylammonium (CCC) in wheat. **Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences-Serie des Sciences Biologiques**, Warszawa, v. 15, n. 11, p. 707, 1967.

BURG, S.P.; BURG, E.A. The interaction between auxin and ethylene and its role in plant growth. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 55, n. 2, p. 262–269, 1966.

CAN, N.D.; YOSHIDA, T. Genotypic and phenotypic variances and covariances in early maturing grain sorghum in a double cropping. **Plant Production Science**, Fukuoka, v. 2, n. 1, p. 67–70, 1999.

CAIERÃO, E.; MINELLA, E.; ANTONIAZZI, N. Novas Cultivares MN 716: nova cultivar de cevada com estabilidade de produção e qualidade cervejeira. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 6, 1063-1065, 2006.

CASTRO, P. R. C.; KLUGUE, R. A.; SESTARI. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. Agrônoma Ceres Ltda, Ouro Fino, 2008. p 864.

CATHEY, H. M.; STUART, N. W. Comparative plant growth-retarding activity of AMO-1618, Phosfon, and CCC. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 2, p. 51-57, 1961.

CHOW, B.; MCCOURT, P. Plant hormone receptors: perception is everything. **Genes & Development**, Cold Spring Harbor v. 20, n. 15, p. 1998-2008, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cevada - Brasil**. Série Histórica de: área, produtividade e produção. 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 27 mar. 2014.

COX, W.J.; OTIS, D.J. Growth and yield of winter wheat as influenced by CCC and Ethrel. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 264–270, 1989.

DAHNOUS, K.; VIGUE, G. T., LAW, A. G., KONZAK, C. F., & MILLER, D. G. Height and yield response of selected wheat, barley, and triticale cultivars to Ethrel. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 580–582, 1977.

DAVIES, W.J.; KUDROYAROVA, G.; HARTUNG, W. Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 24, n. 4, p. 285–295, 2005.

DE LIMA, I.B.; TAKANE, R.J.; DE LACERDA, C.F.; DOS SANTOS, A.B.; PIVETTA, K.F. L. Efeito do regulador SADH e dos substratos fibra de coco e areia no cultivo em vaso de girassol ornamental. **Científica: Journal of Agrarian Sciences**, Jaboticabal, v. 42, n. 4, p. 376-387, 2014.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 28 p. (Documentos, 139).

DESIKAN, R.; LAST, K.; HARRETT-WILLIAMS, R.; TAGLIAVIA, C.; HARTER, K.; HOOLEY, R.; NEILL, S. J. Ethylene-induced stomatal closure in *Arabidopsis* occurs via AtrbohF-mediated hydrogen peroxide synthesis. **The Plant Journal**, v. 47, n. 6, p. 907–916, 2006.

DEVI, K.N.; VYAS, A. K.; SINGH, M. S.; SINGH, N. G. Effect of bioregulators on growth, yield and chemical constituents of soybean (*Glycine max*). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 3, n. 4, p. 151-159, 2011.

DU, H.; WANG, N.; CUI, F.; LI, X.; XIAO, J.; XIONG, L. Characterization of the β -carotene hydroxylase gene DSM2 conferring drought and oxidative stress resistance by increasing xanthophylls and ABA synthesis in rice. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 154, n. 3, p. 1304–1318, 2010.

EHLERS, W.; GOSS, M.J. **Water dynamics in plant production**. Wallingford: CABI, 2003. 297–305.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”. **Posto meteorológico da ESALQ**. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/posto/>>. Acesso em: 10 fev. 2016. Mudar a entrada no texto

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T. de; SOUZA, M.A. de; GROSSI, J.A.S. Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2010.

EVANS, L. T. **Feeding the ten billion: plants and population growth**. Cambridge University Press, Cambridge. 1998, p. 256.

FAO. **FAOSTAT**: statistical yearbooks; world food and agriculture. Rome, 2013, 288 p.

FIGUEIRE, L.S. **Comportamento produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e da aplicação de reguladores vegetais**. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2011.

FIRN, R. Plant growth substances. **Phytochemistry**, New York, v. 31, n. 3, p.1091, 1992.

FOSTER, K.R.; REID, D.M.; TAYLOR, J.S. Tillering and yield responses to Ethrel in three barley cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 130–134, 1991.

GAN, S.; AMASINO, R.M. Making sense of senescence (molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence). **Plant Physiology**, Bethesda, v. 113, n. 2, p. 313-319, 1997.

GIKLOO, S.T.; ELHAMI, B. Physiological and morphological responses of two almond cultivars to drought stress and cycocel. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, Tehran, v. 3, p. 1000–1004, 2012.

GLIOŽERIS, S.; TAMOŠIŪNAS, A.; ŠTUOPYTĖ, L. Effect of some growth regulators on chlorophyll fluorescence in *Viola × wittrockiana* “Wesel Ice”. **Biologija**, Lithuania, v. 53, n. 2, p. 24–27, 2007.

GOMATHINAYAGAM, M.; ANURADHA, V. E.; ZHAO, C.; AYOOLA, G. A.; JALEEL, C. A.; ANNEERSELVAM, R. P. ABA and GA3 affect the growth and pigment composition in *Andrographis paniculata* Wall.ex Nees., an important folk herb. **Frontiers of Biology in China**, Beijing, v. 4, n. 3, p. 337–341, 2009.

GREWAL, H.S.; KOLAR, J. S.; CHEEMA, S. S.; SINGH, G. P. Studies on the use of growth regulators in relation to nitrogen for enhancing sink capacity and yield of gobhi sarson (*Brassica napus*). **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 36, p. 1–4, 1993.

HAISEL, D.; POSPÍŠILOVÁ, J.; SYNKOVÁ, H.; SCHNABLOVÁ, R.; BAŤKOVÁ, P. Effects of ABA or benzyladenine on pigment contents, chlorophyll fluorescence, and chloroplast ultrastructure during water stress and after rehydration. **Photosynthetica**, Prague, v. 44, n. 4, p. 606–614, 2006.

HALL, H.K.; MCWHA, J.A. Effects of ABA on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Annals of Botany**, London, v. 47, n. 4, p. 427–433, 1980.

HAY, R.K.M. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 126, n. 1, p. 197–216, 1995.

HATSCHBACH, M.; BORTOLOTO, R.P.; CAPITANIO, J. Avaliação de acessos de arroz vermelho resistentes a imidazolinonas no Rio Grandedo Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2004, Águas de São Pedro. **Anais...** Londrina: SBCPD. 2004. 1 CD-ROM.

HEDDEN, P. The genes of the green revolution. **Trends in Genetics**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 5–9, 2003.

IVANOV, A.G.; KROL, M.; MAXWELL, D.; HUNER, N. P. A. ABA induced protection against photoinhibition of PSII correlates with enhanced activity of the xanthophyll cycle. **FEBS Letters**, Amsterdam, v. 371, n. 1, p. 61–64, 1995.

JIA, H.; LU, C. Effects of ABA on photoinhibition in maize plants. **Plant Science**, Limerick, v. 165, n. 6, p. 1403–1410, 2003.

JU, J.; YAMAMOTO, Y.; WANG, Y.; SHAN, Y.; DONG, G.; MIYAZAKI, A.; YOSHIDA, T. Genotypic differences in dry matter accumulation, nitrogen use efficiency and harvest index in recombinant inbred lines of rice under hydroponic culture. **Plant Production Science**, London, v. 12, n. 2, p. 208–216, 2009.

JUNIOR, R. L.; GUIMARÃES, V. F.; DOS SANTOS, D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373–379, 2008.

KERBER, E.; LEYPOLDT, G.; SEILER, A. CGA 163'935, a new plant growth regulator for small grain cereals, rape and turf. **Plant Growth Substances**, Basle, v. 31, n. 3, p. 1091, 1989.

KHALIL, I.A. Chlorophyll and carotenoid contents in cereals as affected by growth retardants of the triazole series. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 23, p. 183–189, 1995.

KING, R.W.; EVANS, L.T. Gibberellins and flowering of grasses and cereals: prizing open the lid of the “florigen” black box. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 54, n. 1, p. 307–328, 2003.

KOFIDIS, G.; GIANNAKOULA, A.; ILIAS, F. Growth, anatomy and chlorophyll fluorescence of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) treated with prohexadione-calcium and SADH. **Acta Biologia Cracoviensia**. Series Botanica, Kraków, v. 50, p. 55–62, 2008.

KUST, C. A. Cycocel plant growth regulant: uses in small grains. **Plant Growth Regulators in Agriculture**, Taiwan, p. 178, 1986.

LEVITT, L.K.; STEIN, D.B.; RUBINSTEIN, B. Promotion of stomatal opening by indoleacetic acid and etrel in epidermal strips of *Vicia faba* L. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 85, n. 2, p. 318–321, 1987.

LI, F.; VALLABHANENI, R.; WURTZEL, E.T. PSY3, a new member of the phytoene synthase gene family conserved in the Poaceae and regulator of abiotic stress-induced root carotenogenesis. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 146, n. 3, p. 1333–1345, 2008.

LINZAMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V.F.; SANTOS, D. dos; BENCKE JUNIOR, M.H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373–379, 2008.

LO, S.F.; YANG, S.Y.; CHEN, K.T.; HSING, Y.I.; ZEEVAART, J.A.; CHEN, L.J.; YU, S.M. A novel class of gibberellin 2-oxidases control semidwarfism, tillering, and root development in rice. **The Plant Cell**, Rockville, v. 20, n. 10, p. 2603–2618, 2008.

LONG, S. P.; ORT, D. R. More than taking the heat: crops and global change. **Current Opinion in Plant Biology**, Florida, v. 13, n. 3, p. 240–247, 2010.

LORD, K. A.; WHEELER, A. W. Uptake and movement of ¹⁴C-chlormequat chloride applied to leaves of barley and wheat. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 32, n. 3, p. 599–603, 1981.

MA, B.L.; SMITH, D.L. Chlormequat and Ethrel timing and grain production of spring barley. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 934–939, 1992.

MADHAVAN, S.; CHROMINISKI, A.; SMITH, B.N. Effect of ethylene on stomatal opening in tomato and carnation leaves. **Plant and Cell Physiology**, Cary, v. 24, n. 3, p. 569–572, 1983.

MARRI, P.; SARLA, N.; REDDY, L. V.; SIDDIQ, E. A. Identification and mapping of yield and yield related QTLs from an Indian accession of *Oryza rufipogon*. **BMC Genetics**, London, v. 6, n. 1, p. 1, 2005.

MARTINELLI, J.A.; FEDERIZZI, L.C.; BENNEDETI, A.C. Redução do rendimento de grãos de aveia em função da severidade da ferrugem-da-folha. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 40, n. 1, p. 116–118, 1994.

MIR, M.R.; KHAN, N. A.; RATHER, G. H.; LONE, N. A.; BASHARAT, S. Effect of nitrogen and etrel on various physiological and yield attributes of mustard (*Brassica juncea* L.). **Applied Biological Research**, New Delhi, v. 10, n. 1/2, p. 1–5, 2008.

MIR, M.R.; KHAN, N. A.; BHAT, M. A.; LONE, N. A.; RATHER, G. H.; RAZIVI, S. M.; PAYNE, W. A. Effect of ethrel spray and nitrogen on growth, photosynthesis, carboxylation efficiency and water use efficiency of mustard (*Brassica juncea* L.). **International Journal of Current Research**, Srinagar, v. 6, p. 45–52, 2010.

MISHRA, D.; PRADHAN, G.C. Effect of transpiration-reducing chemicals on growth, flowering, and stomatal opening of tomato plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 50, n. 2, p. 271–274, 1972.

MOHAMMAD, D.; COX, P. B.; POSLER, G. L.; KIRKHAM, M. B.; HUSSAIN, A.; KHAN, S. A. R. T. A. J. Correlation of characters contributing to grain and forage yield and forage quality in sorghum (*sorghum bicolor*). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 63, p. 92–95, 1993.

MONTALDI, E.R. **Principios de fisiología vegetal**. La Plata: Ediciones Sur, 1995. 298 p.

MUDAY, G.K.; RAHMAN, A.; BINDER, B.M. Auxin and ethylene: collaborators or competitors? **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 181–195, 2012.

NAFZIGER, E.D.; WAX, L.M.; BROWN, C.M. Response of five winter wheat cultivars to growth regulators and increased nitrogen. **Crop Science**, Madison, v. 26, p. 767–770, 1986.

NAQVI, S.S. Plant growth hormones: growth promoters and inhibitors. In: PASSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 527–556.

NASCIMENTO, V. do. **Resposta do arroz a doses e épocas de aplicação do regulador de crescimento Moddus**. 2008. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, Botucatu, 2008.

NEENAN, M.; SPENCER-SMITH, J.L. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 85, n. 3, p. 495–507, 1975.

NOODÉN, L.D. ABA, auxin, or other regulators of senescence. In: NOODÉN, L.D.; LEOPOLD, A.C. **Senescence and ageing in plants**. San Diego: Academic Press, 1988. p. 367–397.

NOODÉN, L.D.; GUIAMÉT, J.J.; JOHN, I. Senescence mechanisms. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, n. 4, p. 746–753, 1997.

ORTON, P.J.; MANSFIELD, T.A. Studies of the mechanism by which SADH (B9) inhibits stomatal opening. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 125–133, 1976.

PELTONEN-SAINIO, P. Genetic improvements in the structure of oat stands in northern growing conditions during this century. **Plant Breeding**, Berlin, v. 104, n. 4, p. 340–345, 1990.

_____. Productive oat ideotype for northern growing conditions. **Euphytica**, Oxford, v. 54,

n. 1, p. 27–32, 1991.

PINTHUS, M.J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, Rehovot, v. 25, p. 209-263, 1973.

PISKUREWICZ, U. et al. The gibberellic acid signaling repressor RGL2 inhibits Arabidopsis seed germination by stimulating abscisic acid synthesis and ABI5 activity. **The Plant Cell Online**, Rockville, v. 20, n. 10, p. 2729-2745, 2008.

POSPISILOVA, J.; CATSKY, J.; SYNKOVÁ, H.; MACHACKOVA, I.; SOLÁROVÁ, J. Gas exchange and in vivo chlorophyll fluorescence in potato and tobacco plantlets in vitro as affected by various concentrations of 6-benzylaminopurine. **Photosynthetica**, Praha, v. 29, n. 1, p. 1-13, 1994.

RADEMACHER, W. Growth retardants : effects on gibberellin. **Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, p. 501–531, 2000.

RAMEL, F.; BIRTIC, S.; GINIES, C.; SOUBIGOU-TACONNAT, L.; TRIANTAPHYLIDÈS, C.; HAVAUX, M. Carotenoid oxidation products are stress signals that mediate gene responses to singlet oxygen in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 109, n. 14, p. 5535–5540, 2012.

REINOSO, H.; TRAVAGLIA, C.; BOTTINI, R. ABA Increased soybean yield by enhancing production of carbohydrates and their allocation in seed. In: TZI-BUN, Ng. (Ed.). **Soybean: biochemistry, chemistry and physiology**. Rijeka: InTech, 2011. v. 32, p. 577-598.

RILEY, W. J.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; MATSON, P. A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 3, p. 223–236, 2001.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; TEIXEIRA, M. C. C.; ROMAN, E.S. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 18 p. (Circular Técnica, 14).

SABOURI, H.; SABOURI, A.; DADRAS, A. R. Genetic dissection of biomass production, harvest index and panicle characteristics in indica-indica crosses of Iranian rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, Dourados, v. 3, n. 3, p. 155–166, 2009.

SCHMIDERER, C.; GRAUSGRUBER-GRÖGER, S.; GRASSI, P.; STEINBORN, R.; NOVAK, J. Influence of gibberellin and daminozide on the expression of terpene synthases and on monoterpenes in common sage (*Salvia officinalis*). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 167, n. 10, p. 779-786, 2010

SREENIVASULU, N.; HARSHAVARDHAN, V. T.; GOVIND, G.; SEILER, C.; KOHLI, A. Contrapuntal role of ABA: does it mediate stress tolerance or plant growth retardation under long-term drought stress? **Gene**, Amsterdam, v. 506, n. 2, p. 265-273, 2012.

SCHUCH, U.K. Response of chrysanthemum to uniconazole and SADH applied as dip to cuttings or as foliar spray. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 13, n. 3, p. 115–121, 1994.

SENA JÚNIOR, D.G. **Utilização de técnicas de visão artificial para ajuste da adubação nitrogenada em trigo**. 2005. 166 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SEUNGWOO, L.; KYUNGHEE, R. Growth control in 'New Guinea' impatiens (*Impatiens hawkeri hybrida*) by treatments of plant growth retardants and triazole fungicides. **Korean Journal of Horticultural Science & Technology**, Jeollabuk-do, v. 18, n. 6, p. 827–833, 2000.

SHEPARD, D.; DIPAOLA, J. Regulate growth and improve turf quality. **Golf Course Management**, Seoul, v. 68, n. 3, p. 56–59, 2000.

SINCLAIR, T.R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 3, p. 638–643, 1998.

SOLTANI, A.; REZAI, A.M.; KHAJEH POUR, M.R. Genetic variability for some physiological and agronomic traits in grain sorghum (*Sorghum bicolor L.*). **JWSS-Isfahan University of Technology**, Mashhad, v. 5, n.1, p. 127–137, 2001.

SUTTLE, J.C. Effect of ethylene treatment on polar IAA transport, net iaa uptake and specific binding of n-1-naphthylphthalamic acid in tissues and microsomes isolated from etiolated pea epicotyls. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 88, n. 3, p. 795–799, 1988.

SYME, J.R. A high-yielding Mexican semi-dwarf wheat and the relationship of yield to harvest index and other varietal characteristics. **Animal Production Science**, Clayton South, v. 10, n. 44, p. 350–353, 1970.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANAKA, Y.; SANO, T.; TAMAOKI, M.; NAKAJIMA, N.; KONDO, N.; HASEZAWA, S. Ethylene inhibits ABA-induced stomatal closure in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 138, n. 4, p. 2337–2343, 2005.

TATNELL, J.A. The relationship between height reduction, lodging control and yield in winter barley following use of trinexapac-ethyl. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE WEEDS, 1995, Brighton. **Proceedings...** Farnham: BCPC, 1995. v. 2, p. 635-640.

THETFORD, M.; WARREN, S. L., BLAZICH, F. A., & THOMAS, J. F. Response of *Forsythia xintermedia spectabilis* to uniconazole. II. Leaf and stem anatomy, chlorophyll, and photosynthesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, n. 6, p. 983–988, 1995.

TOLBERT, N. E. (2-chloroethyl) trimethylammonium chloride and related compounds as plant growth substances. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda v. 235, n. 2, p. 475, 1960.

TONON, J. Cevada: as principais doenças fúngicas. **Correio Agrícola Bayer**, Belford Roxo, v. 2, p. 12–15, 1992.

TRAVAGLIA, C.; COHEN, A.C.; REINOSO, H.; CASTILLO, C.; BOTTINI, R. Exogenous ABA increases carbohydrate accumulation and redistribution to the grains in wheat grown under field conditions of soil water restriction. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 26, n. 3, p. 285–289, 2007.

TRAVAGLIA, C.; REINOSO, H.; COHEN, A.; LUNA, C.; TOMMASINO, E.; CASTILLO, C.; BOTTINI, R. Exogenous ABA increases yield in field-grown wheat with moderate water restriction. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 29, n. 3, p. 366–374, 2010.

TRIPATHI, S.C.; SAYRE, K.D.; KAUL, J.N.; NARANG, R.S. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum*. L.) culms and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and Ethrel. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 84, n. 3, p. 271–290, 2003.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 63, p. 153–182, 2012.

WARNER, R.M.; ERWIN, J.E. Effect of plant growth retardants on stem elongation of Hibiscus species. **HortTechnology**, Ames, v.13, n. 2, p. 293– 296, 2003.

WHEAT FLOUR INSTITUTE. From wheat to flour: the story of man... in a grain of wheat. **University Of Nairobi Library**, Chicago. P. 76, 1966.

WHIPKER, B.; DASOJU, S. Potted sunflower growth and flowering responses to foliar application of SADH, paclobutrazol, and uniconazole. **HortTechnology**, Ames, v. 8, n. 1, p. 86-88, 1998.

WIERSMA, D.W.; OPLINGER, E.S.; GUY, S.O. Environment and cultivar effects on winter wheat response to Ethrel plant growth regulator. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 5, p. 761–764, 1986.

WILKINSON, S.; DAVIES, W.J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 195–210, 2002.

YAMAZAKI, H.; NISHIJIMA, T.; KOSHIOKA, M. Effects of (+)-S-ABA on the quality of stored cucumber and tomato seedlings. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 80–82, 1995.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain filling of cereals under soil drying. **New Phytologist**, Cambridge, v. 169, n. 2, p. 223–236, 2006.

YANG, J.; WANG, Z.; ZHU, Q.; SU, B. Regulation of ABA and GA to the grain filling of rice. **Zuo Wu Xue Bao**, Yangzhou, v. 25, n. 3, p. 341–348, 1999.

YANG, J.; ZHANG, J.; WANG, Z.; ZHU, Q. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 41, n. 3, p. 185–195, 2003a.

YANG, J.; LIU, K.; WANG, Z.; DU, Y.; ZHANG, J. Water-saving and high-yielding irrigation for lowland rice by controlling limiting values of soil water potential. **Journal of**

Integrative Plant Biology, Shenzhen, v. 49, n. 10, p. 1445–1454, 2007.

YANG, J.C.; ZHANG, J. H.; WANG, Z. Q.; ZHU, Q. S.; LIU, L. J. Involvement of ABA and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 26, n. 10, p. 1621–1631, 2003b.

YANG, J.C.; ZHANG, J. H.; YE, Y. X.; WANG, Z. Q.; ZHU, Q. S.; LIU, L. J. Involvement of ABA and ethylene in the responses of rice grains to water stress during filling. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 27, n. 8, p. 1055–1064, 2004.

YOUSSEFIAN, S.; KIRBY, E.J.M.; GALE, M.D. Pleiotropic effects of the GA-insensitive Rht dwarfing genes in wheat. 2. Effects on leaf, stem, ear and floret growth. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 191–210, 1992.

YU-HUA, T.; ZHANG, J.H.; YE, Y.X.; WANG, Z.Q.; ZHU, Q.S.; LIU, L.J. Nitrogen runoff and leaching losses during rice-wheat rotations in Taihu Lake region, China. **Pedosphere**, Nanjing, v. 17, n. 4, p. 445–456, 2007.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25–29, 2002.

ZHANG, Z.; ZHANG, S.; YANG, J.; ZHANG, J. Yield, grain quality and water use efficiency of rice under non-flooded mulching cultivation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 71–81, 2008.

ANEXOS

Anexo A

Análise de variância para as alturas das plantas de trigo em função do tempo

Altura (cm)					
Tratamentos	42 DAG	50 DAG	58 DAG	70 DAG	90 DAG
Controle	38.75 a	43.90 ab	51.81 a	60.12 a	80.3 a
ABA(1x)	40.40 a	42.23 b	49.04 ab	61.75 a	80.1 a
ABA(2x)	37.47 a	40.75 b	45.68 b	60.5 a	81.0 a
CCC	40.81 a	46.40 a	51.76 a	62.25 a	81.3 a
Moddus	37.90 a	43.45 ab	50.49 a	61.75 a	81.3 a
SADH	39.14 a	41.79 b	41.46 c	62.38 a	82.5 a
C.V.	4.775424	3.912324	3.47959	2.289077	1.882977
Valor F	2.0557 NS	5.4664**	23.472***	1.7516 NS	1.2635 NS

* Significância ($P < 0,05$); ** Significância ($P < 0,01$); NS não-significante; n = 6. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DAG = dias após germinação

Anexo B

Análise de variância para as mensurações de transpiração, resistência difusiva e conteúdo de clorofila (índice SPAD) das plantas de trigo

Tratamentos	Transpiração	Resistencia difusiva	Índice SPAD
Controle	6.92 b	1.69 cd	41.86 b
ABA(1x)	7.31 b	1.71 c	42.37 b
ABA(2x)	4.60 c	2.87 a	45.75 b
CCC	7.52 b	1.50 cd	45.02 b
Moddus	9.57 a	1.42 d	45.56 b
SADH	5.78 bc	2.03 b	50.72 a
C.V.	12.06873	7.007638	3.832966
Valor F	16.163 ***	66.406***	13.348***

* Significância ($P < 0,05$); ** Significância ($P < 0,01$); NS não-significante; n = 6. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Anexo C

Análise de variância para as mensurações massa seca dos grãos, colmos das plantas e índice de colheita para as plantas de trigo

Tratamentos	Massa seca dos grãos (g)		Massa seca Colmo (g)		Índice de colheita	
Controle	22.55	bc	12.26	a	0.58	bc
ABA(1x)	26.07	ab	9.83	ab	0.65	ab
ABA(2x)	29.64	a	8.31	b	0.70	a
CCC	17.34	ab	9.22	ab	0.58	bc
Moddus	24.25	c	9.64	ab	0.63	ab
SADH	10.06	d	7.66	b	0.5	c
C.V.	13.61381		15.3756		5.963826	
Valor F	22.455***		4.7385**		14.151***	

* Significância (P<0,05); ** Significância (P<0,01); NS não-significante; n = 6. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Anexo D

Análise de variância para as alturas das plantas de cevada em função do tempo

Altura (cm)						
Tratamento	34 DAG		42 DAG		50 DAG	
Controle	30.42	a	45.84	a	46.67	ab
ABA(2x)	31.21	a	39.88	b	43.42	bc
Ethrel(2x)	29.38	a	38.63	b	39.00	c
SADH(2x)	29.63	a	46.33	a	48.92	a
C.V.	7.092294		9.052768		9.106103	
Valor F	1.8077 NS		12.775 ***		13.55 ***	

* Significância (P<0,05); ** Significância (P<0,01); NS não-significante; n = 4. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

DAG = dias após germinação

Anexo E

Análise de variância para as mensurações de massa seca dos grãos, colmos das plantas e índice de colheita para as plantas de cevada

Tratamento	Transpiração	Resistencia difusiva	Índice spad
Controle	2.84 b	1.63 b	35.50 b
ABA(2x)	3.40 ab	3.89 a	41.35 a
Ethrel(2x)	2.30 a	1.76 b	33.10 a
SADH(2x)	4.49 b	1.76 b	39.48 b
C.V.	8.9329**	24.96682	4.522972
Valor F	19.22433	14.949***	19.616***

* Significância ($P < 0,05$); ** Significância ($P < 0,01$); NS não-significante; n = 4. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Anexo F

Análise de variância para as mensurações massa seca dos grãos, colmos das plantas e índice de colheita para as plantas de cevada

Tratamento	Massa seca colmo	Massa seca do grão	Índice de colheita
Controle	86.33 a	47.87 b	0.33 b
ABA(2x)	69.18 b	71.08 a	0.46 a
Ethrel(2x)	68.77 b	47.34 b	0.38 b
SADH(2x)	65.65 b	44.87 b	0.37 b
C.V.	4.844247	11.90152	9.725616
Valor F	28.467***	15.242***	8.4549**

* Significância ($P < 0,05$); ** Significância ($P < 0,01$); NS não-significante; n = 4. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade