

IANDRA ROCHA BARBOSA

**INIBIDORES DE GIBERELINA E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA MODULAÇÃO DO
SUPERBROTAMENTO EM ALHO (*Allium sativum* L.) CULTIVADO NO
CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Willian Rodrigues Macedo

Coorientador: Marcelo Coelho Sekita

**RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS
2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba

T

B238i
2021
Barbosa, Iandra Rocha, 1995-
Inibidores de giberelina e restrição hídrica na modulação do superbrotamento em alho (*Allium sativum* L.) cultivado no cerrado / Iandra Rocha Barbosa. – Rio Paranaíba, MG, 2021.
29: il. (algumas color.).

Orientador: Willian Rodrigues Macedo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvcrp.2021.007>

Modo de acesso: <https://www.locus.ufv.br/>.

1. Reguladores vegetais. 2. Hortaliças. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). II. Título.

635.26

Bibliotecário(a) responsável: Crislene Silva de Sousa CRB6-2539

IANIRA ROCHA BARBOSA

INIBIDORES DE GIBERELINA E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA MODULAÇÃO DO
SUPERBROTAMENTO EM ALHO (*Allium sativum* L.) CULTIVADO NO
CERRADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de julho de 2021.

Assentimento:


Iandra Rocha Barbosa
Autora


Willian Rodrigues Macedo
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre estar presente em minha vida, me guiando e protegendo.

Ao meu avô, Rômulo (*in memoriam*), porque sei que estaria orgulhoso em comemorar mais essa conquista e por nunca ter medido esforços pela nossa felicidade.

A minha vovó, Almerinda (Bebé), por todas as orações, por vibrar comigo cada conquista e por ser essa mulher exemplar.

A minha mãe, Keila, pelo apoio incondicional em todos os momentos, por me ensinar os valores mais nobres da vida e por sempre acreditar em mim.

Ao meu pai, Adriano, pelo incentivo para que me tornasse agrônoma e por me ensinar que com trabalho duro o sucesso será consequência.

A minha irmã, Amanda, por ser minha companheira de vida e de profissão, por dividir comigo a paixão pela cultura do alho e por todo apoio.

Ao meu noivo, Davi, por dividir comigo todos os momentos, por acreditar no meu potencial e por todo o incentivo e cuidado.

A minha afilhada, Alice, por alegrar nossos dias com suas descobertas e por ser motivo da nossa luta diária.

Ao meu orientador, Willian Rodrigues Macedo, por todos os ensinamentos, por toda paciência e compreensão.

À Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba.

À Fazenda Sekita.

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

“Entrega o teu caminho ao SENHOR.”
(Salmo 37:5)

RESUMO

BARBOSA, Iandra Rocha, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Inibidores de giberelina e restrição hídrica na modulação do superbrotamento em alho (*Allium sativum* L.) cultivado no cerrado**. Orientador: Willian Rodrigues Macedo. Coorientador: Marcelo Coelho Sekita.

O superbrotamento é uma anomalia genético-fisiológica que reduz drasticamente a produtividade de bulbos de alho (*Allium sativum* L.). Mediante a isso, objetivou-se avaliar a ação de inibidores de giberelina associado, ou não, ao manejo de irrigação, visando inibir a ocorrência do superbrotamento em bulbos de alho. O experimento foi conduzido sob condições de campo na Fazenda Sekita, em Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brasil, no período de março a agosto de 2020. Adotou-se o arranjo fatorial $2 \times 4 + 1$, sendo: dois números de aplicações (2 e 3 vezes) e quatro tratamentos: restrição hídrica + etil-trinexapac (RH+ETP) 0,05 mL m⁻²; etil-trinexapac (ETP) 0,05 mL m⁻²; cloreto de cloromequate (CCC) 0,05 mL m⁻²; paclobutrazol (PBZ) 0,05 mL m⁻², com um tratamento adicional (testemunha). A avaliação de altura das plantas foi realizada 72 horas após a última aplicação dos reguladores vegetais e as trocas gasosas foram mensuradas aos 49 DPP nos tratamentos em que as plantas foram submetidas a 2 aplicações dos reguladores e 53 DPP nos tratamentos com 3 aplicações. Aos 117 DPP foi avaliado o índice de superbrotamento, classificação comercial (CEAGESP) e peso de bulbo fresco por planta. Os dados foram submetidos à análise de variância e, na presença de significância, as médias foram comparadas pelo teste SNK (95%), para a análise de comparação entre os tratamentos e o tratamento adicional (testemunha) foi utilizada a análise de contrastes ortogonais, através da análise do teste t. Para análise exploratória dos dados referentes à categorização dos bulbos de alho produzidos, foi conduzida uma análise descritiva. A submissão da restrição hídrica promove diversas alterações morfofisiológicas nas plantas de alho, dentre elas, com destaque para a redução da taxa fotossintética e altura das plantas. Conclui-se que, para o controle do superbrotamento a restrição hídrica, tratamento preconizado pelos produtores rurais, não apresentou eficiência significativa. Em contrapartida este processo associado ao uso do inibidor de crescimento (etil-trinexapac), foi eficaz para a restrição do distúrbio fisiológico.

Palavras-chave: Reguladores vegetais. Desordem fisiológica vegetal. Manejo de cultivos. Hortaliças.

ABSTRACT

BARBOSA, Iandra Rocha, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Gibberellin inhibitors and water restriction in the modulation of oversprouting in garlic (*Allium sativum* L.) cultivated in the cerrado.**.. Adviser: Willian Rodrigues Macedo. Co-adviser: Marcelo Coelho Sekita.

Lateral shoot growth is genetic-physiological anomaly unwanted by farmers, that reduces the yield of garlic bulbs (*Allium sativum* L.). The objective of this research was evaluated the action of gibberellin inhibitors associated or not with irrigation management, aiming to inhibit the occurrence of lateral shoot growth in garlic bulbs, as alternative technologies to the common control practices for this physiological disorder. The experiment was carried out under field conditions at Fazenda Sekita, in Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brasil, from march to august, 2020. The experiment was conducted in factorial scheme $2 \times 4 + 1$, where: two period of application (2 and three times), and treatments: regulated deficit irrigation + trinexapac-ethyl (0,05 mL m⁻²); trinexapac-ethyl (0,05 mL m⁻²); chlormequat chloride (0,05 mL m⁻²); paclobutrazol (0,05 mL m⁻²), with additional treatment (control). The plant height assessment was performed 72 hours after the last application of plant growth regulators and gas exchange was measured at 49 days after planting (DAP) in the treatments where the plants were subjected to 2 applications of the growth regulators and 52 DPP in the treatments subjected to 3 applications. At 117 DAP, the lateral shoot growth index, commercial classification (CEAGESP) and fresh bulb weight per plant were evaluated. The means were subjected to analysis of variance (ANOVA) and later compared by the SNK test (95%) and for evaluation between treatments and control, was adopted the orthogonal contrasts by test t. For exploratory analysis of garlic bulbs, we realize the descriptive analysis. The submission of regulated deficit irrigation promotes several morphophysiological changes in plants, including: reduction of photosynthetic rate, leaf water content, plant height and fresh shoot plant mass. It is concluded that, for the control of lateral shoot growth, it was found that regulated deficit irrigation, a treatment recommended by rural producers, did not show significant efficiency. On the other hand, this process, associated with the use of a growth inhibitor (ethyl-trinexapac), was extremely efficient in controlling the physiological disorder.

Keywords: Plant growth regulators. Physiological plant disorder. Crop management. Vegetables.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1 Condições experimentais e tratamentos	11
2.2 Análise biométrica	14
2.3 Análise de trocas gasosas	14
2.4 Índice de superbrotamento	15
2.5 Parâmetros produtivos	15
3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
4. RESULTADOS	16
4.1 Análise biométrica	16
4.2 Análises de trocas gasosas	17
4.3 Índice de superbrotamento	18
4.4 Parâmetros produtivos	19
5. DISCUSSÃO	21
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum* L.) é uma planta monocotiledônea pertencente à família Alliaceae (MENEZES SOBRINHO, 1978), e se destaca entre as hortaliças devido seus atributos medicinais e condimentares (RESENDE, 2018). O gênero *Allium* é constituído por mais de 600 espécies (ROSSETI et al., 2019), dentre elas, o alho comum (*Allium sativum* L.), cebola (*Allium cepa*), cebolinha verde (*Allium fistulosum*), cebolinha francesa (*Allium schoenoprasum*) e alho-poró (*Allium ampeloprasum*) (FAO, 2005).

O consumo de alho pelo brasileiro apresentou aumento significativo no decorrer dos anos, em 2016 obteve-se a média de 1,5 quilo per capita (CARVALHO et al., 2017), porém a produção interna não atende a totalidade da demanda nacional (BACKES et al., 2008), o que leva o país a importar este alimento (SOUZA & MACÊDO, 2009). Dados de 2020 indicam que o Brasil importou cerca de 51,8 mil toneladas de alho, tendo como principais fornecedores a China e Argentina (GUGEL, 2020).

O alho cultivado no Brasil pode ser subdividido em duas classes: nobre e semi-nobre ou alho comum (RESENDE & GUERRA, 2012), de acordo com o número de bulbilhos por bulbo, com presença inferior de 20 bulbilhos para a primeira classe e superior a 20 bulbilhos para a segunda classe (SOUZA & MACÊDO, 2004). As cultivares de alho pertencentes ao grupo nobre têm seu cultivo limitado em várias regiões do país devido a sua exigência por temperatura e fotoperíodo (FILGUEIRA, 2008). Já o alho semi-nobre é cultivado principalmente por produtores familiares, sem exigências de aportes tecnológicos (RESENDE et al., 2011) e com baixa exigências endofoclimática (RESENDE et al., 2021).

Em alho nobre a vernalização induzida é realizado previamente ao plantio, os bulbos-sementes são submetidos a baixas temperaturas (entre 3-5 °C) e elevada umidade relativa (65-70%), a fim de reduzir a demanda da planta por fotoperíodo e temperatura (REGHIN et al., 1998; MACÊDO et al., 2006). Porém, este processo pode ser um dos fatores contribuintes para a ocorrência do superbrotamento da cultura, devido ao desequilíbrio de hormônios promotores do crescimento, como citocinina e giberelina (BURBA, 1983).

O superbrotamento é uma anomalia genético-fisiológica em que ocorre a brotação indesejada dos bulbilhos antes da colheita, inibindo a formação adequada

destes, resultado em bulbos com baixa valorização comercial (SOUZA & CASALI, 1986). Dentre os fatores que propiciam a incidência de plantas superbrotadas têm-se: a vernalização dos bulbos em temperaturas entre 0 e 5 grau Celsius (MANN & MINGS, 1958), o fotoperíodo (KAMENETSKY et al., 2004), a temperatura (SOUZA & CASALI, 1986), as cultivares (SOUZA & MACÊDO, 2004), o desbalanço nutricional de nitrogênio (BÜLLET et al., 2002), o desbalanço hídrico (OLIVEIRA et al., 1964) e o conteúdo de giberelinas ativas (LIU et al., 2020).

Ainda de acordo com Liu et al. (2020) as giberelinas (GA's) estão diretamente ligadas ao surgimento do superbrotamento, com ação direta no balanço hormonal, induzindo maior expressão de zeatina ribosídeo e de proteína solúvel no caule, enquanto reduz os níveis de GA3, auxina e açúcares (glicose, sacarose e frutose) no caule da planta de alho, culminando na sinalização ao superbrotamento.

Algumas práticas agrícolas são adotadas no manejo para evitamento do superbrotamento, principalmente a restrição hídrica e a redução na adubação nitrogenada (OLIVEIRA et al., 2020), sendo que ambos manejos podem acarretar em redução da produção. Outra prática comum está relacionada a aplicações de alguns herbicidas específicos, em doses elevadas, durante a fase de diferenciação, no intuito de prover estresses na planta e, assim, restringir o superbrotamento (GABRIEL et al., 2020). Porém, estas técnicas ainda não apresentam completa eficácia no controle deste distúrbio, e invariavelmente acarretam potencial risco de contaminação ao ambiente e aos produtores.

Poucos relatos consideram o uso de compostos inibidores de giberelina para o controle do superbrotamento, já que algumas características são específicas destes formulados, mas que necessariamente estes devem possuir atividade biológica em plantas alvo, persistência, absorção e translocação pela planta, e ausência de efeitos colaterais, para efetivo sucesso no uso hortícola (RADEMACHER, 1995).

Assim, esta pesquisa objetivou avaliar a ação de inibidores de giberelina associado, ou não, ao manejo de irrigação, visando inibir a ocorrência do superbrotamento em bulbos de alho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Condições experimentais e tratamentos

O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Sekita, situada na região do PADAP em Rio Paranaíba – Minas Gerais, nas seguintes coordenadas geográficas 46°10'05.75''O e 19°18'29.41''S, com altitude média de 1133 metros. Os propágulos de alho classe comercial 6 foram plantados no dia 30 de março de 2020 e a colheita ocorreu no dia 25 de julho de 2020, totalizando em um ciclo fenológico de 117 dias.

O manejo fitossanitário de pragas e doenças foi realizado mediante a necessidade da cultura, visando à integridade do vigor das plantas. Já o solo da área estudada foi classificado como Latossolo Vermelho-amarelo Acrico (LVAw), apresentando as seguintes características químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físico-químicos do solo da área PL03 - Fazenda Sekita. Rio Paranaíba, MG, Brasil.

K	Ca	Mg	Al	H+Al	P Res.	P Rem.	P Mehlich		
cmolc/dm ³					mg/dm ³				
0,29	5,4	1,7	0	1,60	226	6,3	132,9		
MO	Zn	B	Cu	Fe	Mn	t	SB	T	V
g/dm ³	mg/dm ³					cmolc/dm ³			%
27	6,7	0,36	1,9	12	0,7	7,39	7,39	8,99	82,2

Para a condução da cultura em campo foram realizadas as seguintes adubações com fertilizantes, à base do adubo N-P-K (Nitrogênio-Fósforo-Potássio) (Tabela 2), resultando em 196,5 kg de N ha⁻¹, 1298 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 363 kg de K₂O ha⁻¹.

Tabela 2. Fertilização das plantas de alho durante o período experimental na Fazenda Sekita. Rio Paranaíba, MG, Brasil.

Adubação de implantação da cultura					
Formulado*	Quantidade total (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Data de aplicação
01-32-00	4000	40	1280	0	6 DAP
00-00-21	500	0	0	105	3 DPP
Adubação de cobertura					
Formulado*	Quantidade total (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Data de aplicação

04-00-00	150	6	0	0	7 DPP
04-00-00	350	14	0	0	16 DPP
19-04-19	350	66,5	14	66,5	23 DPP
19-04-19	100	19	4	19	32 DPP
00-00-21	200	0	0	42	36 DPP
04-00-00	300	12	0	0	71 DPP
00-00-21	250	0	0	52,5	75 DPP
13-00-26	300	39	0	78	79 DPP

* Dias antes do plantio (DAP); Dias pós-plantio (DPP).

Para esta pesquisa cultivou-se a variedade nobre Ito, em sistema de plantio de filas duplas, tendo espaçamento de 9 cm entre plantas, 12 cm entre linhas e 40 cm entre as linhas duplas, resultando em um estande de 367.656 plantas por hectare. O delineamento adotado foi em blocos casualizados (DBC), no arranjo fatorial 2 x 4+1, composto por 4 repetições. Foram avaliados dois números de aplicações (2 e 3 aplicações) e 4 tratamentos, como segue: **Tratamento 1:** restrição hídrica + etil-trinexapac (RH+ETP) 0,05 mL m⁻²; **Tratamento 2:** etil-trinexapac (ETP) 0,05 mL m⁻²; **Tratamento 3:** cloreto de clomequate (CCC) 0,05 mL m⁻²; **Tratamento 4:** paclobutrazol (PBZ) 0,05 mL m⁻², com tratamento adicional do tipo testemunha.

A primeira aplicação dos tratamentos ocorreu 39 DPP, ou seja, previamente na fase inicial de diferenciação dos bulbos. Para a aplicação foliar dos tratamentos utilizou-se um pulverizador elétrico (Mundi, 7015), com capacidade útil de 9 litros e pressão máxima de 3 bar. Adotou-se volume de calda 10 mL m⁻², onde cada bloco possuía 3,23 m² de área representativa, constituído por 30 plantas de alho. As aplicações dos reguladores vegetais seguiram as datas do cronograma abaixo (Tabela 3).

Tabela 3. Cronograma de aplicação nos blocos com suas respectivas datas.

Cronograma			
Blocos	1ª Aplicação	2ª Aplicação	3ª Aplicação
2 aplicações	08/05/2020	15/05/2020	---
3 aplicações	08/05/2020	13/05/2020	18/05/2020

Durante o período da diferenciação dos bulbos de alho, não houve realização de irrigação entre os dias 08 de maio e 30 de maio (Figura 1B), com exceção nos dias 11 de maio (3,23mm) e 01 de junho (4,04mm). Porém, registraram-se precipitações nos dias: 15, 17, 23 e 24 de maio (Figura 1B). A irrigação complementar nos

tratamentos 2, 3 e 4, em que as plantas de alho não foram submetidas à restrição hídrica, foi realizada diariamente, com auxílio de um regador, mantendo a capacidade de campo (CC).

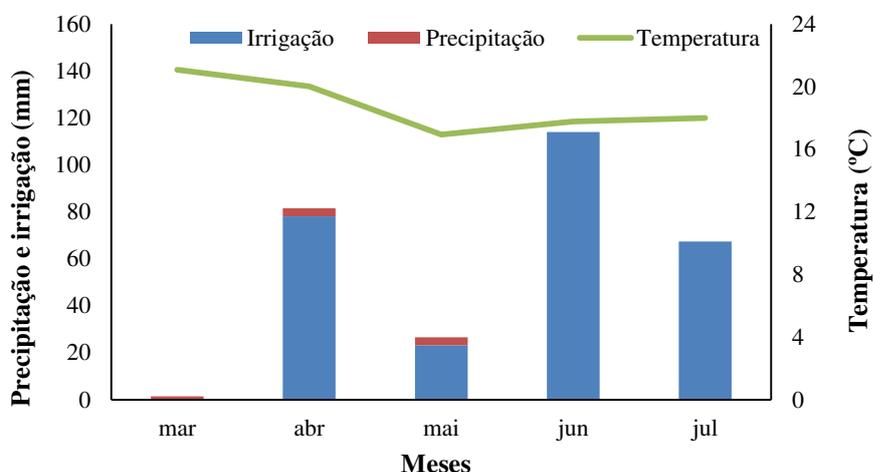


Figura 1. Dados climatológicos da área experimental, no período compreendido entre 30/03/2020 e 27/07/2020. São Gotardo, MG, 2020.

2.2 Análise biométrica

A avaliação de altura das plantas foi realizada 72 horas após a última aplicação dos reguladores vegetais nos blocos correspondentes, ou seja, aos 49 DPP no bloco que recebeu somente duas aplicações e aos 53 DPP no bloco com três aplicações dos produtos, selecionando 4 plantas por repetição, totalizando 16 plantas por tratamento. A altura foi mensurada com folhas levantadas, com auxílio de uma régua mediu-se desde o nível do solo até o ápice das folhas.

2.3 Análise de trocas gasosas

As trocas gasosas das plantas de alho foram realizadas 72 horas após a última aplicação dos reguladores vegetais nos blocos correspondentes, ou seja, aos 49 DPP no bloco que recebeu duas aplicações e aos 53 DPP no bloco com três aplicações dos inibidores de giberelina, e as análises ocorreram no terço médio foliar da última folha completamente expandida. As mensurações ocorreram entre 9 e 11 h, com ajuda de um sistema portátil de trocas gasosas (LI-6400XT; LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA), equipado com fluorômetro modulado (LCF-40 LI-COR Inc.), sob saturação de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de $1.000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, para

aferição dos seguintes parâmetros: assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), transpiração foliar (E) e pressão intercelular de CO_2 (C_i).

2.4 Índice de superbrotamento

A avaliação foi realizada aos 117 DPP, na fase de senescência, onde foram colhidas manualmente todas as plantas da área experimental, eliminando 0,36 metros de bordadura. Posteriormente, todos os bulbos de alho obtidos foram classificados mediante a presença ou ausência do superbrotamento, tendo o valor expresso em porcentagem (%) em relação ao número total de plantas por repetição de cada tratamento.

2.5 Parâmetros produtivos

Aos 117 DPP após a colheita, realizou-se o corte eliminando a parte aérea e raízes das plantas de alho, permanecendo somente os bulbos limpos, os quais foram classificados de acordo com o seu diâmetro (mm), com a escala comercial (CEAGESP, 2021): classe 7 (>56 mm), classe 6 (47-56 mm), classe 5 (42-47 mm) e classe 4 (<42 mm). Em seguida, todos os bulbos foram pesados individualmente a fim de obter o peso de bulbo fresco por planta de alho.

3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a obtenção dos dados se realizou a verificação da homoscedasticidade, normalidade e aditividade. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, na presença de significância, as médias do arranjo fatorial ($2 \times 4 + 1$) foram comparadas pelo teste *SNK* (5% de significância), para a análise de comparação entre os tratamentos e o controle adicional (tratamento com restrição hídrica) foi adotada a análise de contrastes ortogonais, através da análise do teste *t*, com auxílio do programa SPEED Stat (CARVALHO et al., 2020).

Para análise exploratório dos dados referentes a categorização dos bulbos de alho produzidos, foi conduzida uma análise descritiva, com apresentação das porcentagens observadas, dentro de cada classe, e que foram consideradas aptas a comercialização.

4. RESULTADOS

4.1 Análise biométrica

A altura das plantas de alho foi influenciada significativamente após aplicação dos reguladores vegetais. Observa-se que, na análise fatorial, as plantas submetidas a restrição hídrica + etil-trinexapac (RH+ETP) e etil-trinexapac reduziram seu crescimento consideravelmente, ao nível de duas aplicações, quando comparados aos tratamentos de CCC e PBZ. Enquanto os tratamentos Restrição Hídrica + Etil-trinexapac (RH+ETP), Etil-trinexapac e CCC, em três aplicações foram os mais eficientes na redução do crescimento das plantas, quando comparados ao tratamento PBZ. Para a análise do desdobramento fatorial observa-se que o tratamento CCC foi aquele que diferiu entre duas e três aplicações. Já a análise de contrastes ortogonais, verificamos que somente os tratamentos com Etil-trinexapac associado ao déficit hídrico e Etil-trinexapac, forma efetivos na restrição do crescimento, quando comparados ao tratamento convencional de restrição hídrica, para ambas condições de aplicações (duas ou três vezes). Enquanto a dose de 0,05 mL m⁻² do PBZ, não restringiu o crescimento das plantas de alho.

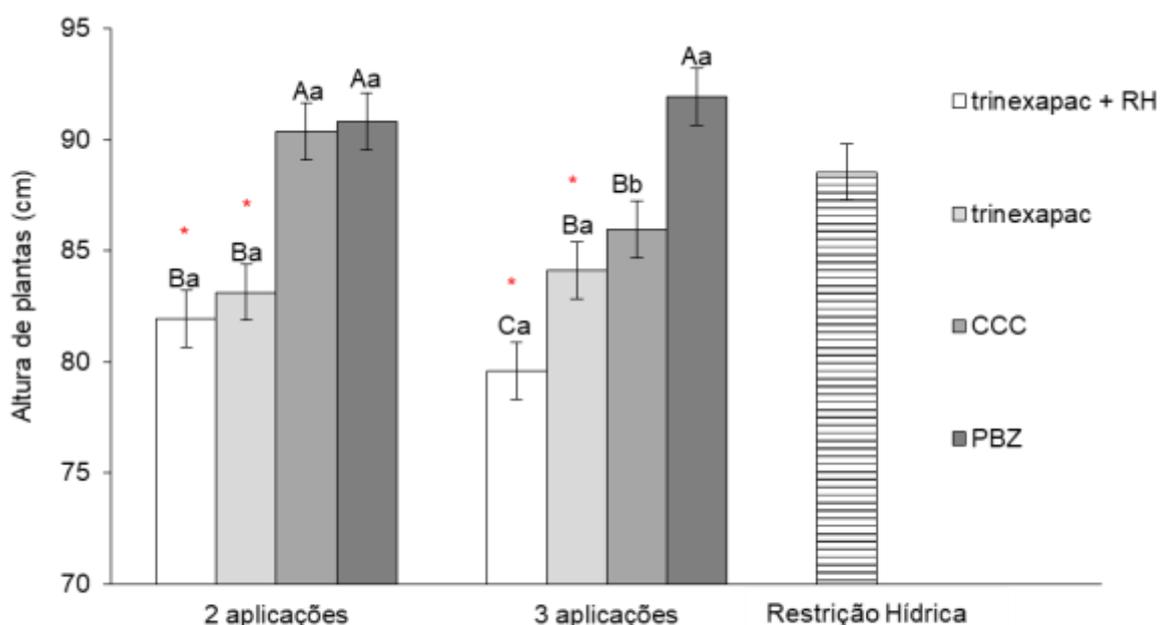


Figura 2. Altura das plantas de alho aos 49 DPP (duas aplicações) e 53 DPP (três aplicações), submetidas aos tratamentos: Restrição Hídrica + Etil-trinexapac (RH+ETP); Etil-trinexapac (ETP); Cloreto de cloromequate (CCC); Paclobutrazol (PBZ) e tratamento adicional (Restrição Hídrica). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os níveis dos reguladores de crescimento, e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os números de aplicações, pelo teste *SNK* (5% de significância), adicionalmente as médias seguidas por * se diferem do tratamento testemunha ao nível de 5% de significância pelo teste *t*.

4.2 Análises de trocas gasosas

Na análise dos parâmetros de trocas gasosas, constatou-se que para a taxa de assimilação de CO₂ (Figura 3A), somente o tratamento com restrição hídrica associada a três aplicações de ETP, aos 49 DPP, reduziu significativamente a assimilação de CO₂, dentro dos níveis de reguladores, como no número de aplicações do ETP, sendo este o único tratamento que diferiu significativamente na análise de contraste com o controle (Restrição Hídrica). Comportamento similar foi observado para análise da transpiração foliar e condutância estomática, onde para a primeira variável, observou-se no tratamento com 3 aplicações do ETP + restrição hídrica uma redução significativa, quando comparado ao tratamento com 2 aplicações do ETP + restrição hídrica e 3 aplicações do CCC. Com relação a análise de contrastes ortogonais o tratamento com 2 aplicações do ETP + restrição hídrica foi aquele que aumentou significativamente a taxa transpiratória das folhas de alho (Figura 3B). Já para avaliação da condutância estomática, dentro de 2 níveis de aplicações observamos que o tratamento com CCC restringiu a condutância, enquanto dentro do nível de 3 aplicações o tratamento com ETP + restrição hídrica foi aquele mais restritivo à condutância estomática. Na análise entre os níveis o tratamento de três aplicações associado à restrição hídrica reduziu significativamente a condutância estomática. Não foram observadas diferenças significativas para concentração interna de CO₂.

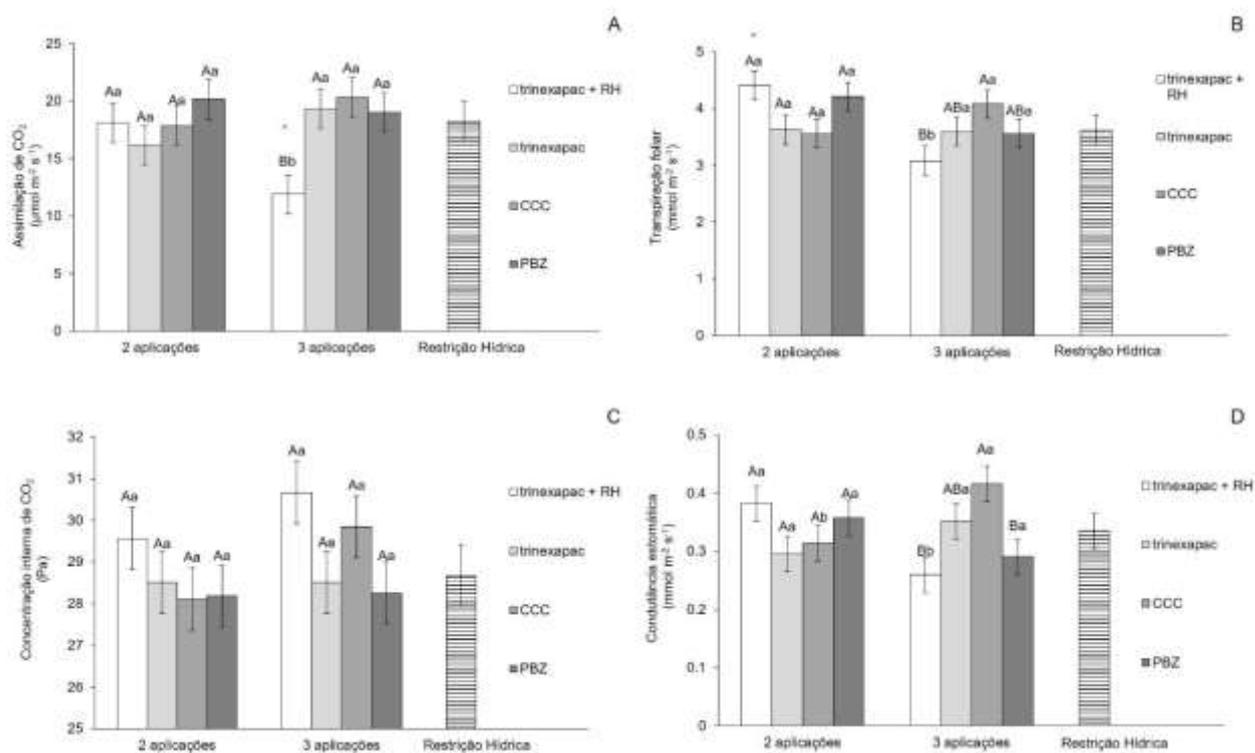


Figura 3. Taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração foliar (B), concentração interna de CO₂ (C) e condutância estomática (D) de plantas de alho 49 DPP (duas aplicações) e 53 DPP (três aplicações) submetidas aos tratamentos: Restrição Hídrica + Etil-trinexapac (RH+ETP); Etil-trinexapac (ETP); Cloreto de cloromequate (CCC); Paclobutrazol (PBZ) e tratamento adicional (Restrição Hídrica). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os níveis dos reguladores de crescimento, e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os números de aplicações, pelo teste *SNK* (5% de significância), adicionalmente as médias seguidas por * se diferem do tratamento testemunha ao nível de 5% de significância pelo teste *t*.

4.3 Índice de superbrotamento

O índice de superbrotamento foi avaliado durante a colheita das plantas, aos 117 DPP, onde foi constatado que em duas aplicações os tratamentos ETP + RH; ETP e CCC reduziram significativamente o surgimento deste distúrbio fisiológico, quando comparado ao tratamento PBZ, e para três aplicações os tratamentos ETP + RH e ETP reduziram significativamente o superbrotamento, quando comparado aos tratamentos CCC e PBZ. Na análise de contrastes ortogonais, para fins de comparação entre cada tratamento e o tratamento controle (RH), verificamos que os tratamentos citados acima também foram eficientes na restrição do distúrbio fisiológico, tendo significativas reduções do superbrotamento, no comparativo do

tratamento adotado pelos produtores rurais para combate às eventuais perdas produtivas.

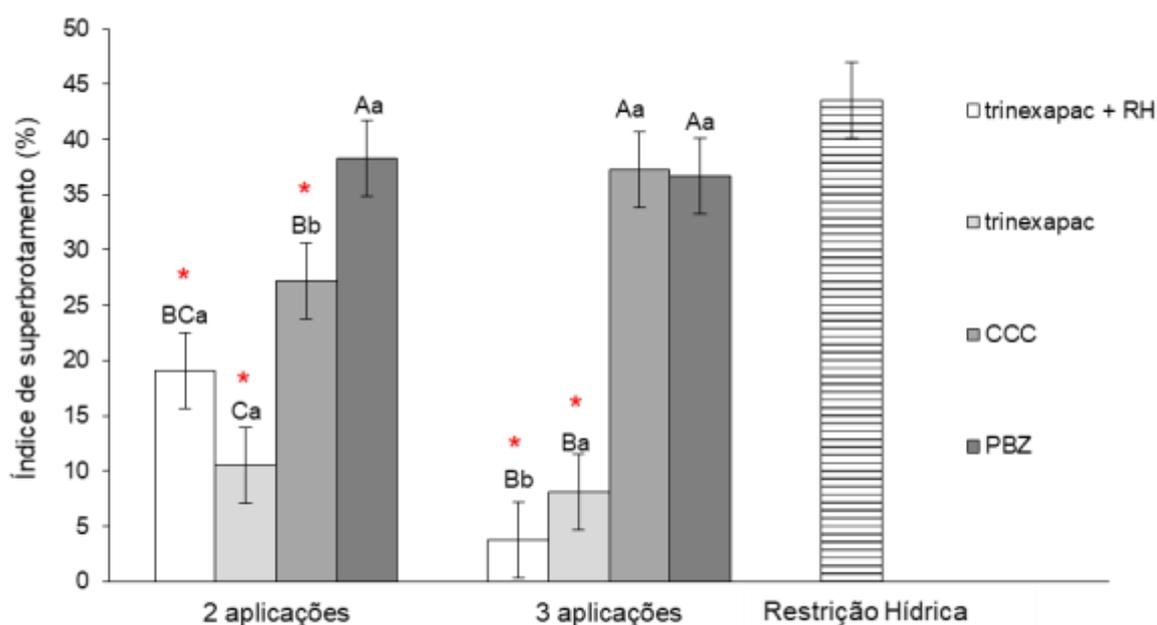


Figura 4. Índice de superbrotamento de alho, aos 117 DPP, submetidas aos tratamentos: Restrição Hídrica + Etil-trinexapac (RH+ETP); Etil-trinexapac (ETP); Cloreto de cloromequate (CCC); Paclobutrazol (PBZ) e tratamento adicional (Restrição Hídrica). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os níveis dos reguladores de crescimento, e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os números de aplicações, pelo teste *SNK* (5% de significância), adicionalmente as médias seguidas por * se diferem do tratamento testemunha ao nível de 5% de significância pelo teste *t*.

4.4 Parâmetros produtivos

Em um primeiro momento, através de análise descritiva dos dados, observou-se que os tratamentos: controle, CCC (2 aplicações), RH e CCC (3 aplicações) apresentaram o maior índice de bulbos classes 6, enquanto os tratamentos de RH, RH+ETP e ETP (2 aplicações) e ETP (3 aplicações) apresentaram maior índice classe 7 (Figura 5). Nota-se também o aumento de bulbos classe 4 em relação ao controle, nos tratamentos compostos por 2 ou 3 aplicações de RH+ETP, ETP, CCC, PBZ, apresentando aumento entre 10-20% dos bulbos e redução dessa classe no tratamento em que foi estabelecido a restrição hídrica. Também se observou aumento de bulbos classe 5 em RH e CCC (2 aplicações) e ETP (3 aplicações). Já

para a classe comercial 8, foi verificado o aumento de produção nos tratamentos compostos por controle e CCC (2 aplicações) e RH+ETP e CCC (3 aplicações) e redução da produção dessa classe RH, RH+ETP, PBZ (2 aplicações) e RH, ETP e PBZ (3 aplicações).

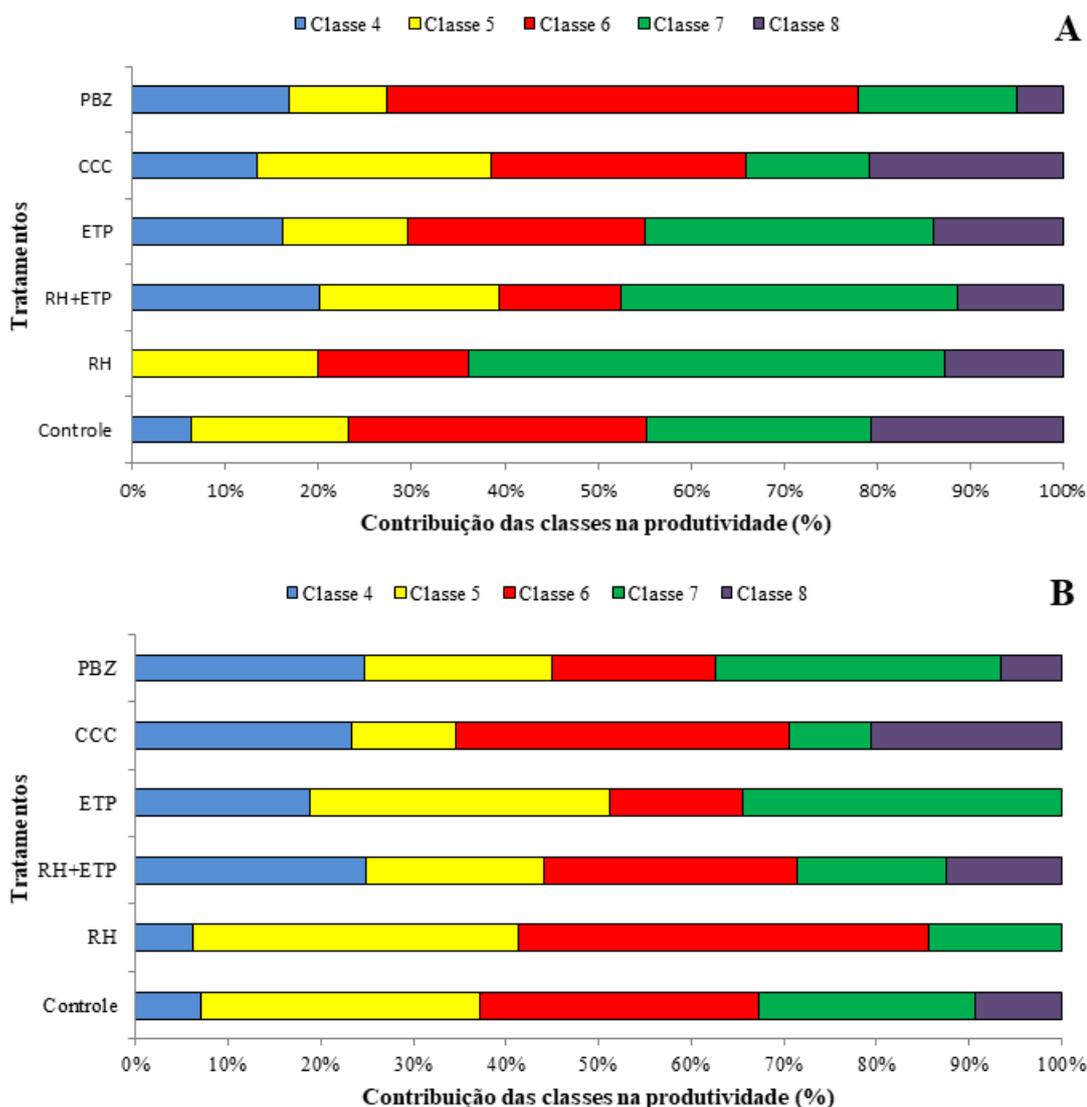


Figura 5. Análise descritiva da classificação comercial dos bulbos de plantas de alho, aos 117 DPP, pertencentes ao bloco de 2 aplicações (A) e 3 aplicações (B), submetidas aos tratamentos: Restrição Hídrica + Etil-trinexapac (RH+ETP); Etil-trinexapac (ETP); Cloreto de cloromequate (CCC); Paclobutrazol (PBZ) e tratamento adicional (Restrição Hídrica)

Mediante aos resultados da análise do peso fresco dos bulbos (Figura 6), constatou-se que o tratamento com restrição hídrica associada a duas aplicações de etil-trinexapac+restrição hídrica e somente etil-trinexapac proporcionaram significativa perda em peso fresco quando comparado ao tratamento de 2 aplicações

de CCC, mesmo resposta foi observada para o uso de 3 aplicações destes mesmos produtos, sendo que estes tratamentos foram àqueles que diferiram significativamente do tratamento controle (restrição hídrica).

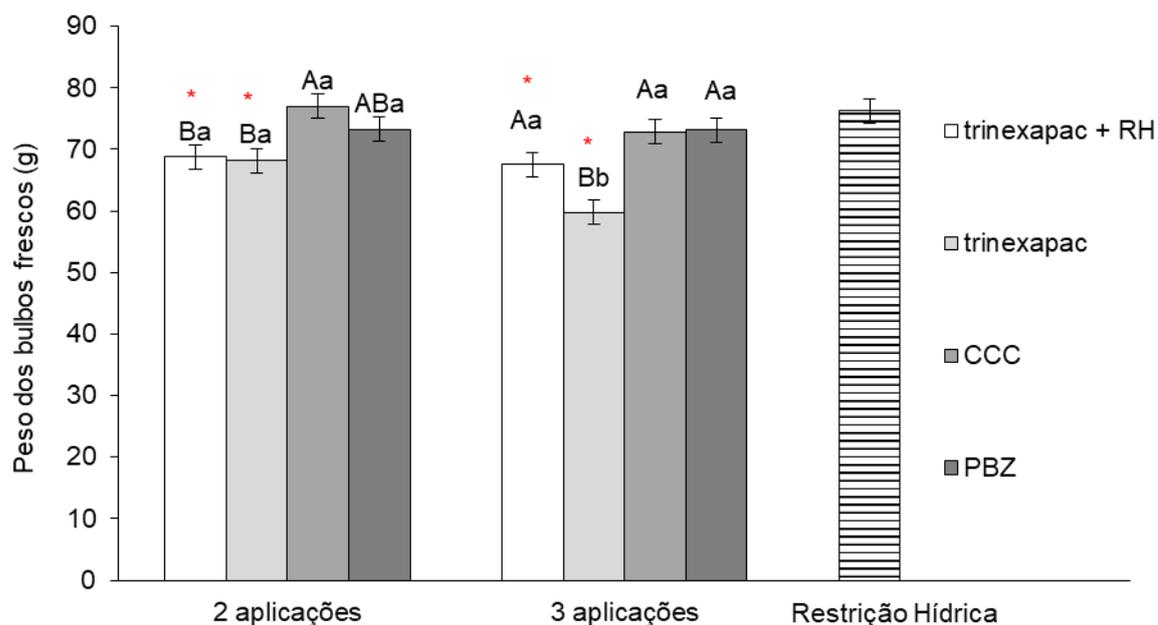


Figura 6. Peso dos bulbos fresco de alho, aos 117 DPP, submetidas aos tratamentos: Restrição Hídrica + Etil-trinexapac (RH+ETP); Etil-trinexapac (ETP); Cloreto de cloromequate (CCC); Paclobutrazol (PBZ) e tratamento adicional (Restrição Hídrica). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os níveis dos reguladores de crescimento, e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os números de aplicações, pelo teste *SNK* (5% de significância), adicionalmente as médias seguidas por * se diferem do tratamento testemunha ao nível de 5% de significância pelo teste *t*.

5. DISCUSSÃO

O superbrotamento do alho é uma anomalia genético-fisiológica, não compreendida por completo, que restringe a produção da cultura é de extrema importância considerar o uso de produtos e processos que viabilizem seu cultivo em diversas regiões, principalmente em regiões tropicais. Dentre os fatores externos que apresentam potencial de promoção deste distúrbio, pode-se considerar que o manejo inadequado de irrigação e fertilização com nitrogênio são apontados como fatores chave neste processo (OLIVEIRA et al., 2020). Neste contexto, a restrição hídrica nas plantas de alho está diretamente correlacionada com alguns fatores,

como potencial restrição da taxa fotossintética, o conteúdo de água foliar, a altura de planta e a massa fresca da parte aérea; além de prover alterações na biossíntese de ácido abscísico e homeostase de proteínas, possibilitando a tolerância ao déficit hídrico (ZHOU et al., 2021).

Dentre os grupos de retardantes do crescimento, existem as moléculas com elevada especificidade para inibição da ação de giberelinas em célula vegetais, sendo este um grupo de hormônio vegetal com grande influência no crescimento vegetativo (JUNIOR et al., 2008), e amplamente encontrado em órgãos como: raízes, folhas jovens e frutos (LAVAGNINI et al., 2014). O grupo dos inibidores de giberelina podem ser divididos em três classes, onde inibem exclusivamente em três estágios da síntese hormonal, sendo que o grupo 1: compostos ônio, que bloqueiam ciclases copalil-difosfato sintase e ent-kaureno sintase, ambas envolvidas nas etapas iniciais da síntese de GA; grupo 2: compostos N-Heterocíclicos, com ação bloqueadora no citocromo P450 monoxigenase dependente, inibindo a oxidação de ent-kaureno em ácido ent-kaurenóico; e grupo 3: o qual inibe as dioxigenases dependentes do 2-oxoglutarato, competindo pelo seu sítio de ligação, o que impede a síntese das gibeelinas ativas (RADEMACHER, 2000).

Os inibidores de crescimento, utilizados nesta pesquisa, têm por ação primordial reduzir o alongamento da parte aérea, sem modificar os padrões de desenvolvimento das plantas ou causar danos por fitointoxicação (RADEMACHER, 2000), e a depender da situação podem se provar de grande importância na horticultura (RADEMCHER, 1995). Os resultados apontam que as plantas submetidas ao etil-trinexapac associado, ou não, ao estresse hídrico demonstraram reduções significativas no crescimento das plantas, a molécula de etil-trinexapac tem apresentado eficácia na redução do crescimento em plantas de trigo (MATYSIAK, 2006; ALVAREZ et al., 2007) e redução na altura e no diâmetro do caule em plantas de soja (LINZMEYER JÚNIOR, 2008). Já resultados antagônicos à restrição do crescimento foram observadas pelo uso do cloreto de cloromequate e paclobutrazol (Figura 2), ponderamos que a baixa eficiência deste dois reguladores seja em virtude das doses aplicadas e/ou escolha inadequada do estágio fenológico.

Considerando que situações de baixa disponibilidade hídrica ativam nas plantas mecanismos protetivos à preservação de água nos tecidos vegetais e com potencial interferência negativa sobre a difusão de CO₂ (BELO, 2011), é de fundamental importância reconhecer técnicas que permitam uma estabilização das

trocas gasosas, mesmo sob esta condição de deficiência hídrica induzida, e em nossos resultados verificou-se que as trocas gasosas das plantas de alho submetidas ao uso de inibidores de giberelina, quando comparadas ao tratamento de restrição hídrica, pela supressão da irrigação por um determinado período de tempo, não apresentaram prejuízos significativos ao crescimento e desenvolvimento das plantas de alho, pois em análise dos componentes de trocas gasosas (assimilação de CO₂, transpiração foliar, condutância estomática e concentração interna de CO₂) verificamos poucos ou nenhum efeito pelo uso destes reguladores (Figura 3). Esta resposta reflete um comportamento das plantas muito positivo, tendo em vista que estas não sofrerão prejuízos nas trocas gasosas, superior àqueles já induzidos pela restrição hídrica.

Neste cenário de tentativas para controle do superbrotamento, é hábito por parte de produtores rurais, que cultivam o alho nobre, estabelecerem uma redução da lâmina de água a ser fornecida às plantas de alho, porém este mecanismo não é eficiente em sua totalidade.

Mediante aos tratamentos utilizados para inibição do superbrotamento, além das aplicações isoladas de ETP, o tratamento com restrição hídrica associada com três aplicações do inibidor ETP apresentou melhor atuação na inibição do superbrotamento (Figura 4). Em contrapartida, observou-se baixa eficiência no controle da anomalia pelo cloreto de chlormequate (CCC) e Paclobutrazol (PBZ), moléculas pertencentes à primeira e segunda classes de inibidores da síntese de GA's, respectivamente (RADEMACHER, 2000). E demonstra a eficiência do Etil-trinexapac como molécula potencial para restrição do superbrotamento, sendo esta atuante na última via de inibição da biossíntese de giberelinas ativas (Figura 7).

O que nos leva a crer que para o controle eficiente do superbrotamento é necessário que algumas vias de síntese das giberelinas sejam funcionais, pois a indução do bloqueio por compostos inibidores dos estágios 1 e 2, não fornecem eficiência no controle deste distúrbio fisiológico e, conseqüentemente, as plantas de alho superbrotam, cenário distinto ao observado no uso do etil-trinexapac, um modulador do estágio 3 da biossíntese de giberelinas.

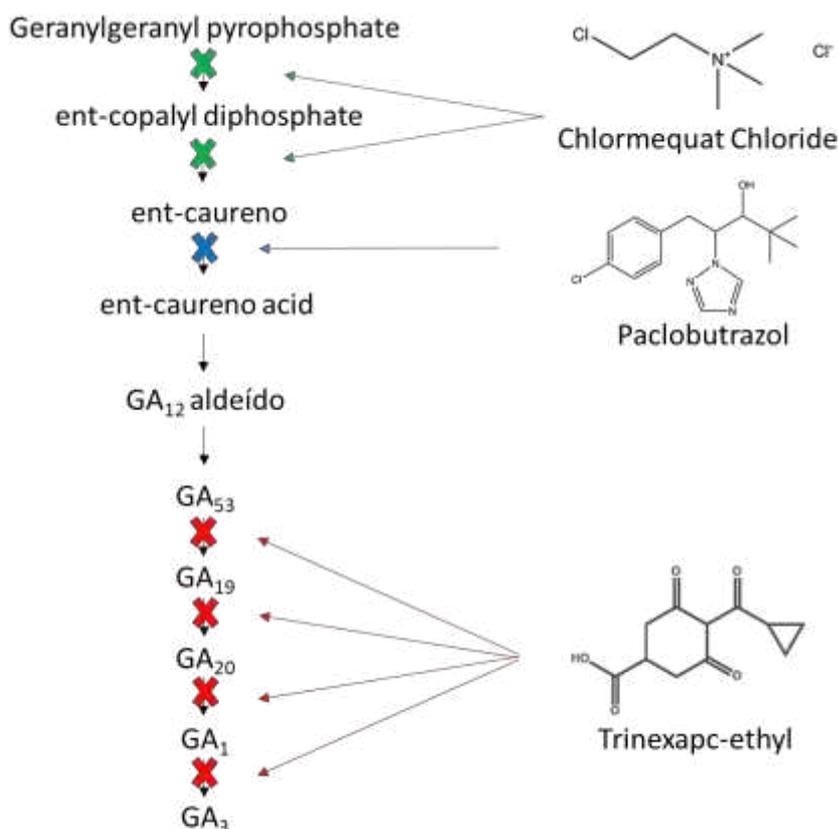


Figura 7. Esquema simplificado da biossíntese de GA₃ e os respectivos locais de ação dos inibidores sintéticos da biossíntese de GA₃. Adaptado de Rademacher (2000).

Para os parâmetros produtivos, o uso do CCC apresentou destaque entre os demais tratamentos, quando se avaliou a obtenção de bulbos classe 8, considerada a mais adequada para consumo in natura de alho, em ambas as condições de uso, para 2 e 3 aplicações, este regulador ainda permitiu a produção de alho classe 5 (2 aplicações) e classe 6 (3 aplicações). Resultados concordantes foram obtidos por Foda et al. (1979), que observaram aumento significativo no diâmetro dos bulbos quando os bulbilhos foram imersos em solução de CCC antes do plantio, fornecendo para o mercado produtos de elevado valor comercial.

Já em relação ao peso de bulbo fresco, o uso de etil-trinexapac isolado, ou associado a restrição hídrica, aplicados em dois períodos, mostrou-se deletério para o ganho de massa quando comparado ao tratamento CCC, enquanto para o uso de reguladores em 3 aplicações apenas o etil-trinexapac se mostrou restritivo ao ganho de massa, se comparada aos demais reguladores. E durante análise comparativa do tratamento controle (restrição hídrica) às moléculas reguladores, reportamos que o

CCC e PBZ não diferiram em massa fresca do procedimento padrão para inibição do superbrotamento, pelo uso da restrição hídrica, mas o etil-trinexapac levou reduções desta variável, ao ser comparado ao tratamento controle.

6. CONCLUSÃO

Para o controle do superbrotamento a restrição hídrica, prática preconizada para controle deste distúrbio fisiológico, não apresentou eficiência. Em contrapartida este processo associado ao uso do inibidor de crescimento (etil-trinexapac), foi eficaz para a restrição do distúrbio fisiológico.

Fisiologicamente as plantas submetidas à restrição hídrica associadas a 3 aplicações do inibidor de crescimento (etil-trinexapac) reduzem as trocas gasosas e o crescimento da parte aérea, no entanto, este tratamento elevou a produção de bulbos comerciais de classe 4, o qual possui baixo valor comercial.

Considerando o cenário produtivo para a safra 2020, o tratamento com etil-trinexapac, foi aquele que apresentou índices satisfatórios no controle do superbrotamento, e permitiu produções de bulbos em classes comerciais mais aceitáveis.

7. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; RODRIGUES, J.D.; ALVAREZ, A.C.C. Aplicação de reguladores vegetais na cultura de arroz de terras altas. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2007.

BACKES, C.; LIMA, C.P.D.; GODOY, L.J.G.D.; VILLAS BÔAS, R.L.; IMAIZUMI I. Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta à adubação nitrogenada. *Bragantia*, v. 67, n. 2, p. 491-498, 2008.

BELO E. S. Efeito do estresse hídrico no metabolismo de gabirobeira. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, p. 131, 2011.

BÜLL, L.T.; BERTANI, R.M. de A.; VILLAS BÔAS, R.L.; FERNANDES, D.M. Produção de bulbos e incidência de pseudoperfilhamento na cultura do alho

vernalizado em função de adubações potássicas e nitrogenadas. *Bragantia*, v. 61, p. 247-255, 2002.

BURBA, J.L. Efeitos do manejo de alho-semente (*Allium sativum* L.) sobre a dormência, crescimento e produção da cultivar Chonan. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, p. 112, 1983.

CARVALHO, C.; KIST, B.B. Anuário brasileiro de hortaliças. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta Santa Cruz. Horticultura Brasil, p. 56, 2017.

CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q.; TAVARES, L.F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20(3): e327420312, 2020.

CEAGESP. Companhia de Armazéns Gerais do Estado de São Paulo. Alho guia de identificação. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/entrepastos/servicos-entrepastagem/hortiescolha/alho/>. Acesso em: 06 junho 2021.

FAO. Statistical data bases. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 06 junho 2021.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção

e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, p. 421, 2008.

FODA, S.A.; SALEH, H.H.; SHAHEIN, A.H. Effect of cycocel chlormequat on garlic. *Agricultural Research Review*, v. 57, n. 3, p. 171-177, 1979.

GABRIEL, A.; RESENDE, J.T.V.; MARODIN, J.C.; MATOS, R.; ZEIST, A.R.; MACIEL, C.D.G. Chemical stress reduces the lateral shoot growth in vernalized garlic. *Horticultura Brasileira* 38, p. 41-46, 2020.

GUGEL, J.T. Hortaliças. Alho. In: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola – Cepa. Epagri/Cepa. Boletim Agropecuário. Abril/2020. Florianópolis, 2020, 51p. (Epagri. Documentos, 309), p. 25. Disponível em:

http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/Boletim_agropecuário/boletim_agropecuário_n83.pdf. Acesso em: 06 junho 2021.

JUNIOR, R.L.; GUIMARÃES, V.F.; 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.

KAMENETSKY R.; LONDON SHAFIR I.; ZEMAH H.; BARZILAY M.; RABINOWITCH H.D. Environmental control of garlic growth and florogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129(2): 144–151. 2004.

LAVAGNINI, C.G.; DI CARNE, C.A.V.; CORREA, F.; HENRIQUE, F.; TOKUMO, L.E.; SILVA, M.H.; SANTOS, P.C.S. Fisiologia vegetal – hormônio giberelina. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia – FAEF, Garça/SP*, v. 25, n. 1, p. 48-52, 2014.

LINZMEYER JUNIOR, R. Influência de retardante vegetal e densidade de plantas no crescimento, componentes de produção, produtividade e acamamento na soja. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LIU, H.J.; HUANG, C.P.; TONG, P.J.; YANG, X.; CUI, M.M.; CHENG, Z.H. Response of axillary bud development in garlic (*Allium sativum* L.) to seed cloves soaked in gibberellic acid (GA3) solution. *J. Integr. Agric.* v. 19, p. 1044-1054, 2020.

MACÊDO, F.S.; SOUZA, R.J.; PEREIRA, G.M. Controle de superbrotamento e produtividade de alho vernalizado sob estresse hídrico. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v. 41, n. 4, p. 629-635, 2006.

MANN, L.K.; MINGES, P.A. Growth and bulbing garlic (*Allium sativum* L.) in response to storage temperature of planting stocks day length and planting date. *Hilgardia*, v. 27, n. 15, p. 385-419, 1958.

MATSYAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. *Journal of Plant Protection Research*, Pozń, v. 46, n. 2, 2006.

MENEZES SOBRINHO, J.A. Origem Botânica do Alho. *Informe Agropecuário*, v. 4, n. 48, p. 14, 1978.

OLIVEIRA, J.T.; OLIVEIRA, R.A.; VALENTE, D.M.; RIBEIRO, I.S.; TEODORO, P. Spatial relationships of soil physical attributes with yield and lateral shoot growth of garlic. *HortScience horts*, v. 55, n. 7, p. 1053-1054, 2020.

OLIVEIRA, J.T.; ALVES DE OLIVEIRA, R.; PUIATTI, M.; TEODORO, P.; MONTANARI, R. Spatial analysis and mapping of the effect of irrigation and nitrogen application on lateral shoot growing of garlic. *HortScience*, v. 55, n. 5, p. 664-665, 2020.

RADEMACHER, W. Growth retardants: Biochemical features and applications in horticulture. *Acta Hortic.*, v. 394, p. 57-74, 1995.

RADEMACHER, W. Growth retardants: Effects on gibberellin bioproduction synthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 51, p. 501-531, 2000.

REGHIN, M.Y.; KIMOTO, T. Dormência, vernalização e produção de alho após diferentes tratamentos de frigidificação de bulbilhos-semente. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 16, n. 1, p.73-79, 1998.

RESENDE, F.V. Desafios da produção e inovações tecnológicas para a cultura do alho no Brasil. *Hortaliças em Revista*, ano 7, n. 25, p. 16-17, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187311/1/revista-hortalicased25p1617.pdf>. Acesso em: 06 junho 2021.

RESENDE, F.V.; HABER, L.L.; PINHEIRO, J.B. A cultura do alho. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355126/9124396/Sistema+de+Produ%C3%A7%C3%A3o+de+Alho/64258d94-6bb8-4826-a0e9-ece47aa434ff>. Acesso em: 06 junho 2021.

RESENDE, F.V.; GUERRA, J.G.M. Cultivares de alho para agricultura orgânica. 2012. Disponível em: http://www.cnph.embrapa.br/organica/pdf/noticias/1212_nosso_alho.pdf. Acesso em: 05 junho 2021.

RESENDE, F.V.; MELO, W.F.; GUIDUCCI FILHO, E.; DUSI, A.N. Produção de alho-semente livre de vírus em pequenas propriedades. Brasília – DF: EMBRAPA/CNPH.

Circular Técnica 99. p. 12, 2011. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57208/1/CT-99.pdf>. Acesso em: 03 junho 2021.

RESENDE, G.M.; SOUZA, R.J. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produtividade e características comerciais de alho. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, n. 2, p. 126-129, 2001.

ROSSETI, C.; ALMEIDA, A.S.; MEDEIROS, L.B.; CORTEZ, A.M.; SALBEGO, M.; AGUIAR, R.N.; TUNES, L.V.M. Condições de substrato e temperatura para condução do teste de germinação de sementes de *Allium cepa* L. e *Allium fistulosum* L. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 17042-17048, 2019.

SOUZA, R.J. de; CASALI, V.W.D. Pseudoperfilhamento: uma anormalidade genético-fisiológica em alho. *Informe Agropecuário*, v. 12, p. 36-41, 1986.

SOUZA, R.J. de; MACÊDO, F.S. Vernalização de cultivares de alho nobre na região de Lavras. *Horticultura Brasileira*, v. 22, p. 651- 654, 2004.

SOUZA, R.J. de; MACÊDO F.S. *Cultura do alho: técnicas modernas de produção*. Lavras: UFLA, p. 181, 2009.

ZHOU, X.; CONDORI-APFATA, J.A.; LIU, X.; CONDORI-PACSI, S.J.; VALENCIA, M.V.; ZHANG, C. Transcriptomic changes induced by drought stress in hardneck garlic during the bolting/bulbing stage. *Agronomy* 11, 246, 2021.