

**LARISSA SANTOS CASTRO**

**TRATAMENTO DE SEMENTES E DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE  
MANJERICÃO: ABORDAGENS FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA**

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: Geraldo Humberto Silva

**RIO PARANAÍBA – MINAS GERAIS  
2019**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

C355t  
2019  
Castro, Larissa Santos, 1996-  
Tratamento de sementes e déficit hídrico em plantas de manjeriço : abordagens fisiológica e bioquímica / Larissa Santos Castro. – Rio Paranaíba, MG, 2019.  
52f. : il. ; 29 cm.

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

1. *Ocimum basilicum* L.. 2. Fisiologia vegetal.  
3. Biorreguladores. 4. Estresse hídrico. I. Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal).  
II. Título.

571.2

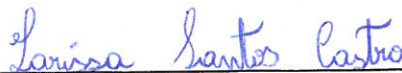
LARISSA SANTOS CASTRO

**TRATAMENTO DE SEMENTES E DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE  
MANJERICÃO: ABORDAGENS FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA**

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: 03 de dezembro de 2019.

Assentimento:



---

Larissa Santos Castro  
Autora



---

William Rodrigues Macedo  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Antonio e Carminha, minha irmã, Lorrany, e meu avô, Joaquim, pelo suporte moral e emocional, sendo meu alicerce.

À todas aquelas pessoas que contribuíram, de uma forma ou outra, para a realização do trabalho.

Aos meus amigos, por me fortalecerem e prezarem pelo meu bem-estar.

Às meninas com quem dividi moradia durante esse prazo, Carolina, Marina, Caroline e Lara, por me auxiliarem com as dificuldades do dia a dia.

Ao Prof. Willian Rodrigues Macedo, que nesses dois anos de convivência, muito me ensinou, com paciência, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

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

“A sabedoria suprema é ter sonhos bastante grandes para não se perderem de vista enquanto os perseguimos”. (William Faulkner, 1929)

## RESUMO

CASTRO, Larissa Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2019. **Tratamento de sementes e déficit hídrico em plantas de manjeriço: abordagens fisiológica e bioquímica.** Orientador: Willian Rodrigues Macedo. Coorientador: Geraldo Humberto Silva.

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), pertencente à família Lamiaceae, é uma espécie medicinal utilizada em diversas áreas, como alimentação, medicamentos, cosméticos, dentre outros. A compreensão da germinação e do comportamento fisiológico dessa espécie às condições ambientais é de suma importância para o aperfeiçoamento dos métodos de cultivo. Diante disso, essa dissertação foi dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo teve como objetivo avaliar aspectos da germinação de sementes de *Ocimum basilicum* L. cv. Limoncino em resposta ao uso de diferentes biorreguladores, sendo estes uma solução de um produto formulado à base de ácido indolbutírico + ácido naftaleno acético + ácido giberélico; outro tratamento com ácido giberélico e o terceiro constituído por 24-epibrasinolideo. No segundo capítulo trabalhamos com enfoque na influência do déficit hídrico em características fisiológicas e bioquímicas em estádios fenológicos distintos da espécie (vegetativo e reprodutivo), utilizando três genótipos, Alfavaca basilicão, Gennaro de menta e Grecco à palla. Concluímos que, no primeiro capítulo, o comprimento da parte aérea e raiz foram influenciados positivamente pela aplicação de ácido giberélico e brassinosteróides, respectivamente. No segundo capítulo constatamos que o déficit hídrico, na fase vegetativa, não prejudicou o desenvolvimento das plantas, enquanto durante o florescimento as respostas fisiológicas dos genótipos foram alteradas conforme a disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum* L. Fisiologia vegetal. Biorreguladores. Estresse hídrico.

## ABSTRACT

CASTRO, Larissa Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2019. **Seed treatment and drought stress in basil: physiological and biochemical approaches.** Adviser: Willian Rodrigues Macedo. Co-adviser: Geraldo Humberto Silva.

Basil (*Ocimum basilicum* L.), belonging to the Lamiaceae family, is a medicinal species used for several purposes, as: food, therapy and cosmetics. Understanding the germination and physiological behavior of this species under unfavorable environmental conditions is extremely important for the improvement of cultivation methods. Given this, this dissertation was divided into two chapters. The first chapter aimed to evaluate aspects of seed germination of *Ocimum basilicum* L. cv. Limoncino in response to the use three different bioregulators, were the first was compound by solution based on: indolbutyric acid + naphthalene acetic acid + gibberellic acid; other treatment with gibberellic acid, alone, and a third treatment composed by solution of 24-epibrasinolide In the second chapter we focus on the influence of water deficit on physiological and biochemical characteristics in distinct phenological stages of the species (vegetative and reproductive), using three genotypes: Alfavaca basilicão, Gennaro de menta and Grecco à palla. We conclude that, in the first chapter, shoot and root length were positively influenced by the application of gibberellic acid and brassinosteroids, respectively. In the second chapter we found that the water deficit in the vegetative phase is less harmful for plant development, while during flowering the physiological responses of genotypes were altered according to water availability.

Keywords: *Ocimum basilicum* L. Plant physiology. Bioregulators. Hydric stress.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	9
<b>CAPÍTULO 1 - EFEITOS DE BIOREGULADORES NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE MUDAS DE MANJERICÃO</b> .....	10
INTRODUÇÃO .....	11
MATERIAL E MÉTODOS .....	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
CONCLUSÕES .....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	17
<b>CAPÍTULO 2 – ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E METABÓLICAS EM VARIEDADES DE MANJERICÃO (<i>OCIMUM BASILICUM</i> L.) SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA</b> .....	22
INTRODUÇÃO .....	24
MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS .....	29
1º Experimento: avaliações na fase vegetativa.....	29
2º Experimento: avaliação durante o florescimento .....	33
DISCUSSÃO .....	41
CONCLUSÕES .....	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47

## INTRODUÇÃO GERAL

A humanidade utiliza plantas para diferentes fins, desde aplicação medicinal, alimentação, material para construção ou aquecimento (CUNHA et al., 2009), sendo que as plantas aromáticas, condimentares e medicinais (ACM) constituem um grupo de espécies que vêm despertando crescente interesse pelo homem (CORRÊA JÚNIOR e SCHEFFER, 2013). Ainda segundo Corrêa Júnior e Scheffer (2013), poucos estudos são realizados nessa área, fazendo com que apenas uma pequena porcentagem dessas plantas seja explorada comercialmente consoante às suas propriedades terapêuticas.

Dentre as diversas espécies medicinais conhecidas, o manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), espécie mais utilizada da família Lamiaceae no Brasil, também denominado por alfavaca basílico, alfavaca-cheirosa ou manjeriço-comum (RODRIGUES e SANTOS, 2005), pode ter uso como medicamento, assim como condimento, devido suas características aromáticas (VENÂNCIO, 2006). Seu óleo essencial tem grande apreço na culinária, aromatização de alimentos e bebidas, além de poder ser utilizado nas indústrias de cosmético e perfumaria (NOLASCO, 1996).

Plantas aromáticas são capazes de produzir óleos essenciais em quantidade significativa, os quais lhes conferem propriedades odoríferas (CUNHA, 2010). Segundo Blank et al. (2004) e Ereno (2006), o manjeriço possui grande potencial agrônomo para extração do linalol, o qual é um dos componentes principais do seu óleo essencial, numa fração representativa de 40,2 a 48,5%

O conhecimento dos efeitos climáticos da região de plantio, os tratamentos culturais adequados e os fatores abióticos que afetam o crescimento e desenvolvimento da planta é de suma importância para obter produtos com alta qualidade da biomassa e dos teores dos principais constituintes de cada planta (BLANK et al., 2005).

Considerando a crescente demanda por plantas com propriedades medicinais e aromáticas, e também a necessidade de melhoria do manejo agrônomo das mesmas, este trabalho teve por objetivo avaliar características fisiológicas da germinação, em sementes previamente tratadas com biorreguladores, no primeiro capítulo. E as respostas fisiológicas e bioquímicas de três variedades de manjeriço submetidas ao déficit hídrico, no segundo capítulo, visando encontrar as condições mais adequadas para o cultivo comercial dessa espécie.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANK AF, CARVALHO FILHO JLS, SANTOS NETO AL, ARRIGONI-BLANK MF, SILVA-MANN R, MENDONÇA MC, 2004. Morphologic and agronomic characterization of basil accessions. **Horticultura Brasileira**, 22 (1), 113-116.

BLANK AF, FONTES SM, OLIVEIRA AS, MENDONÇA MC, SILVA-MANN R, ARRIGONI-BLANK MF, 2005. Produção de mudas, altura e intervalo de corte em melissa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 23 (3), 780-784.

CORRÊA JÚNIOR C, SCHEFFER MC, 2013. **Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares**. Curitiba, Instituto Emater, 52 p. Disponível em <<http://portal.arquivos.saude.gov.br/images/pdf/2015/agosto/28/bpa-plantas-medicinais-aromaticas-condimentares.pdf>> (Acessado em 15/06/2019).

CUNHA AP, RIBEIRO JA, ROQUE OR, 2009. **O emprego das plantas aromáticas desde as antigas civilizações até ao presente**. In: CUNHA, P. A.; RIBEIRO, J. A.; ROQUE, O. R. Plantas aromáticas em Portugal caracterização e utilizações. 2ª Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 19-32.

CUNHA AP, CAVALEIRO C, SALGUEIRO L, 2010. **Fármacos aromáticos (Plantas aromáticas e óleos essenciais)**. 3ª Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010f. ISBN 978-972-31- 1142-2, p. 339-401.

ERENO D, 2006. Perfume de manjeriço. **Revista Fapesp**, 12 (120), 25-28.

NOLASCO F, 1996. **Deficiências nutricionais em manjeriço (*Ocimum spp.*) sob hidroponia**. Monografia (Graduação). Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 19 p.

RODRIGUES MF, SANTOS EC, 2005. **Estudo da viabilidade financeira: implantação da cultura do manjeriço para exportação**. UPIS, 17p. Disponível em: <[http://http://www.upis.br/pesquisas/pdf/agronomia/projeto\\_empresa/pesquisas/im\\_plantacao\\_manjericao1.pdf](http://http://www.upis.br/pesquisas/pdf/agronomia/projeto_empresa/pesquisas/im_plantacao_manjericao1.pdf)> (Acessado em 28/03/2019).

VENÂNCIO AM, 2006. **Toxicidade aguda e atividade antinociceptiva do óleo essencial do *Ocimum basilicum* L. (manjeriço), em *Mus musculus* (camundongos)**. Dissertação (Mestrado). São Cristóvão, Universidade Federal de Sergipe, 108p.

## CAPÍTULO 1 - EFEITOS DE BIOREGULADORES NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE MUDAS DE MANJERICÃO

**Resumo:** O manjericão (*Ocimum basilicum* L.) apresenta múltiplas finalidades, abrangendo desde função condimentar até cosmética, porém características de dormência das sementes podem dificultar o cultivo desta espécie. Esta pesquisa objetivou avaliar aspectos da germinação de sementes de *Ocimum basilicum* L. cv. Limoncino, em resposta ao uso de distintos biorreguladores. Os tratamentos utilizados via embebição do substrato, foram: testemunha (água destilada), solução de um produto formulado a base de ácido indolbutírico + ácido naftaleno acético + ácido giberélico (0,2 mL L<sup>-1</sup>, Liko Química), ácido giberélico (0,5 mM L<sup>-1</sup>, progibb-400) e brassinosteróides (0,1 mM L<sup>-1</sup>). Avaliaram-se: índice de velocidade de germinação, primeira contagem, taxa de germinação, comprimento radicular e de parte aérea e pigmentos foliares. Os resultados dos testes de germinação, primeira contagem, IVG e pigmentos foliares não permitiram detectar diferenças na qualidade fisiológica das plântulas; porém o comprimento da parte aérea e raiz foram influenciados positivamente pela aplicação de ácido giberélico e brassinosteróides, respectivamente. O ácido giberélico e os brassinosteróides são biorreguladores promissores para estimular o crescimento inicial do manjericão.

**Palavras-chave:** Auxina. Brassinosteróides. Giberelina. *Ocimum basilicum* L.

**Abstract:** Basil (*Ocimum basilicum* L.) plants have multiple uses, ranging from spice to cosmetic purpose, besides being a source of essential oil and aromatic, commonly propagated by seed. However, few agrotechnologies are used to enhance the seed germination and initial growth in this crop. For this reason our research aimed to evaluate aspects of seed germination of *Ocimum basilicum* L. cv. Limoncino, subjected to different bioregulators. These treatments were applied via substrate imbibition, as follows: control (distilled water), solution of a product formulated based on indolbutyric acid + naphthalene acetic acid + gibberellic acid (0.2 mL L<sup>-1</sup>, Liko Química), gibberellic acid (0,5 mM L<sup>-1</sup>, progibb-400®) and brassinosteroids (0.1 mM L<sup>-1</sup>). We evaluated: germination rate, germination speed index, first count, root and shoot length and photosynthetic leaf pigments. The bioregulators did not influence germination, first count, IVG and photosynthetic leaf pigment, but application of gibberellic acid and

brassinosteroids improve the shoot and root length, respectively. The gibberellic acid and brassinosteroids are promising bioregulators for stimulating initial basil growth.

**Key-words:** Auxin. Brassinosteroids. Gibberelin. *Ocimum basilicum* L.

## INTRODUÇÃO

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), pertencente à família Lamiaceae, é uma planta que pode ser considerada anual ou perene, de acordo com seu local de cultivo (PEREIRA e MOREIRA, 2011). Plantas desta família são fontes de ingredientes para indústrias cosméticas, pois seus produtos naturais possuem propriedades de proteção UV, antirrugas, antienvhecimento, antipoluição, hidratante e suavizante devido ao alto teor de linalol (FERNANDES et al., 2004; PEREIRA e MOREIRA, 2011; DORNI et al., 2017).

O cultivo de manjeriço pode ser limitado por fatores exógenos adversos como: condições ambientais (PAULUS et al., 2016) ou dormência das sementes (AMARO et al., 2012). Segundo Mendes e Carvalho (2015), a germinação é um processo biológico complexo e é uma das etapas mais importantes do ciclo de vida das plantas, influenciada por mecanismos físicos e metabólicos que culminam no crescimento do eixo embrionário.

A utilização de sementes com alto potencial fisiológico é de suma importância para o sucesso da cultura (OLIVEIRA et al., 2012), onde o cultivo com sementes envolvidas por uma camada de mucilagem pode ser prejudicado, em decorrência da mucilagem dificultar a germinação e o crescimento das plântulas, ocasionando condição de dormência de barreira física nas sementes (CARMONA et al., 2004). Vários estudos foram realizados para identificar procedimentos de quebra de dormência e promover a germinação de sementes, como variação de luz, substrato e temperatura, que fornecem altas porcentagens de germinação em espécies com propriedades medicinais (CASTRO et al., 2002; PIRES et al., 2002).

Além disso, tratamentos adicionais são cruciais para romper a dormência e, portanto, proporcionar maiores taxas de germinação, e o uso de biorreguladores pode melhorar a germinação das sementes e o desempenho inicial das mudas (POWEL e MATTHEWS, 1988), porque esses compostos também participam da regulação da

maturidade, dormência e germinação das sementes (BEWLEY e BLACK, 1985) e atuam imitando a atividade dos hormônios endógenos das plantas (CASTRO e VIEIRA, 2001).

Os hormônios são moléculas sinalizadoras responsáveis pela comunicação entre as diferentes partes das plantas, as quais, em baixas concentrações, regulam e coordenam o desenvolvimento e crescimento vegetal, entre os hormônios vegetais mais conhecidos, tem-se: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico, e, adicionalmente moléculas descobertos recentemente, como: ácido salicílico, ácido jasmônico, brassinosteróides, estrigolactonas, além de moléculas com potencial regulação do crescimento, como: poliaminas e polissacarídeos (MACEDO e CASTRO, 2015).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de três diferentes biorreguladores, brassinosteróides, ácido giberélico e uma formulação a base de ácido indolbutírico + ácido naftaleno acético + giberelina, sobre a fisiologia da germinação e no desempenho de mudas de manjeriço.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no Laboratório de Fisiologia e Metabolismo da Produção Vegetal (LAFIMEPRO) da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba, no período de setembro a outubro de 2018. As sementes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) cv. Limoncino utilizadas foram obtidas por sementes comerciais (ISLA Sementes), com as seguintes características: 100% de pureza, 82% de germinação, pertencentes ao lote: 115518-000.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos consistiram em: T1 - testemunha (embebição somente em água destilada); T2 - embebição em solução de formulado a base de ácido Indolbutirico + ácido naftaleno acético + ácido giberélico (0,2 mL L<sup>-1</sup> – Solução T13); T3 - ácido giberélico (0,5 mM L<sup>-1</sup> progibb-400); e T4 – brassinosteróides (0,1 mM L<sup>-1</sup> 24-epibrassinolideo).

As sementes foram submetidas ao teste de germinação, em câmara B.O.D. previamente regulada a temperatura média de 25° C (± 5°C) em um ciclo de 24 horas, com fotoperíodo de 8 horas de luz, de acordo com as Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Para este teste, 25 sementes foram sobrepostas em papéis

germitest® embebidos na proporção dos respectivos tratamentos em 2,5 vezes a massa seca dos papéis (BRASIL, 2009).

Foram analisadas as variáveis: germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e raízes e conteúdo de pigmentos foliares.

O teste de primeira contagem de germinação foi conduzido concomitante aos testes de germinação e índice de velocidade de germinação, considerando o número de plântulas normais, onde, conforme Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), a avaliação de manjericão é realizada aos 4 e 14 dias, após a montagem do teste.

O índice de velocidade de germinação (IVG) consistiu na contagem diária do número de plântulas normais emergidas até a estabilização da emergência. Ao finalizar o teste, com os dados diários e as respectivas contagens dos números de plântulas emergidas, foi calculado o IVG, utilizando-se a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} \dots \frac{Gn}{Nn}$$

Onde:

IVG = índice de velocidade de germinação;

G1, G2,... Gn = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem,... e na última contagem;

N1, N2,... Nn = número de dias da semeadura à primeira, à segunda,... e à última contagem.

Os comprimentos da parte aérea e de raízes foram mensurados com auxílio de régua graduada no oitavo dia após implantação do teste. Posteriormente à essas medições, as folhas foram coletadas para análise dos pigmentos foliares, onde 0,1 g de tecido foliar foi acondicionado em tubos plásticos (50 mL), contendo solução de acetona 80% (v/v), e mantidos por 72 horas em ausência de luz (MACEDO et al., 2013), o conteúdo sobrenadante foi submetido à leitura em um espectrofotômetro (SP-2000 Espectro de UV) nas absorvâncias de 645 e 663 nm, para determinação das clorofilas a; b, e total, e 470 nm para determinação dos carotenóides (WITHAM et al., 1971). Os resultados foram expressos em miligramas por grama de pigmento no tecido foliar fresco (mg g<sup>-1</sup>).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade, com auxílio do software Speed Stat (CARVALHO E MENDES, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes apresentaram uma camada de mucilagem em volta do tegumento, após um período estimado de 15 segundos em contato com os papéis germitest® umedecidos, ainda no preparo do teste de germinação. Conforme Carmona et al. (1994), a presença de mucilagem aderida às sementes pode prejudicar a germinação e o desenvolvimento de plântulas, ou também ocasionar uma germinação desuniforme, o que explicaria a dormência das sementes em estudo. Em trabalhos realizados previamente, observaram-se a redução da porcentagem de germinação de sementes em decorrência da presença de mucilagem em maracujá (SÃO-JOSÉ e NAKAGAWA, 1987), champaca e alface (CANDIANI et al., 2004), mamão (ONO et al., 2004) e pitaiá vermelha (GODOY et al., 2012).

O teste de germinação (Figura 1A), o IVG (Figura 1B) e primeira contagem de germinação (Figura 1C) não apresentaram diferenças significativas no teste de médias, no entanto, o tratamento com ácido giberélico apresentou ganhos de 6,86; 0,63 e 10,00%, para taxa de germinação, IVG e primeira contagem, respectivamente, quando comparado às menores médias encontradas. Levando em consideração que as sementes são relativamente pequenas, essa maior porcentagem pode reduzir as perdas, quando for realizada a semeadura direta no campo, garantindo o estande adequado.

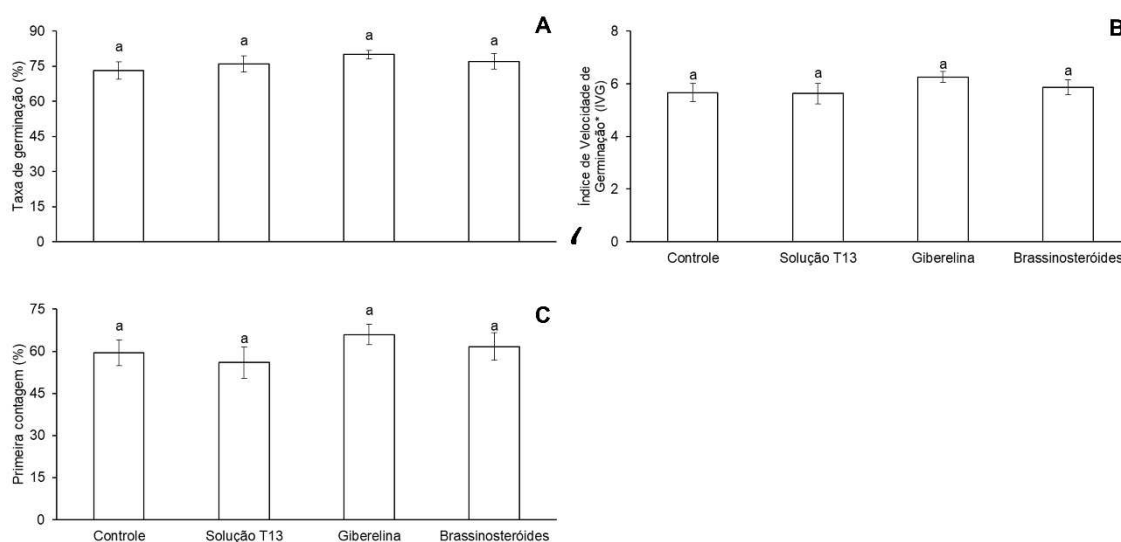


Figura 1 – Taxa de germinação (A), índice de velocidade de germinação (B) e primeira contagem da germinação de sementes de manjeriço submetidas a diferentes biorreguladores.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK (5%).

A giberelina importante papel na aceleração e uniformidade na germinação de diversas espécies, pois no processo de germinação participa da ativação de enzimas hidrolíticas que atuam no desdobramento das substâncias de reserva (PASSOS et al., 2004). Estudos comprovam que a aplicação de ácido giberélico em sementes ou em pré-embebição das mesmas, proporciona um aumento na quantidade de sementes germinadas e acelera o processo germinativo (RODRIGUES E FIOREZI, 2015; SANTOS, 2015; MURAKAMI et al., 2011).

Quanto maior o IVG, maior a possibilidade de obterem-se plântulas mais vigorosas em menor espaço de tempo, o que pode ser observado pela correlação observada de tais dados com os resultados de primeira contagem (KAPPES et al., 2012).

O comprimento radicular (Figura 2A) variou entre os tratamentos, onde a maior média foi observada no tratamento com brassinosteróides, aplicado via substrato, e em contrapartida, o menor valor foi constatado no tratamento formulado com auxinas e giberelina (solução T13), os brassinosteróides são hormônios vegetais que regulam processos de alongamento celular e diferenciação do xilema, com respostas no alongamento de raízes e caules, germinação de sementes e dominância apical (GROVE et al., 1979; FUJIOKA e SAAKURAI, 1997; BAJGUAZ e TRETYN, 2003).

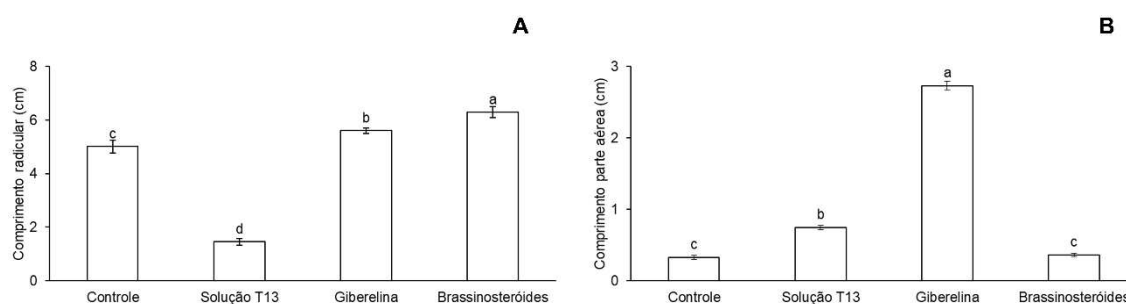


Figura 2 – Comprimento radicular (A) e de parte aérea (B) de plântulas de manjeriço submetidas a diferentes biorreguladores.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK (5%).

Ao observarmos a composição da solução T13, dois tipos de auxinas sintéticas (ácido indolbutírico + ácido naftaleno-acético), e considerarmos que a planta ainda produz auxina endógena, o baixo valor encontrado para comprimento radicular (Figura 2A) pode ser causa de uma fitotoxidez ocasionada por essa combinação de hormônios, o que, provavelmente, gerou uma alta concentração dentro da planta.

Quanto ao comprimento da parte aérea (Figura 2B), a aplicação do ácido giberélico favoreceu o crescimento, apresentando uma diferença de 88,08% quando comparado com a menor média (controle). Resultados semelhantes foram encontrados para plantas de melancia (SILVA et al., 2014) e alface (MENEZES et al., 2006), submetidas ao ácido giberélico também expressaram maior potencial de crescimento da parte aérea.

O tratamento com ácido giberélico alcançou os maiores valores tanto para o comprimento radicular quanto para o comprimento aéreo. A giberelina apresenta como principal característica a promoção do alongamento dos internódios em diversas espécies (LIMA et al., 2007).

Houve diferenças significativas em relação aos pigmentos foliares entre os tratamentos (Figura 3), onde nota-se que os maiores valores ocorrem na ausência dos biorreguladores. Em trabalho realizado por Cruz (2017), foram encontrados resultados semelhantes, a aplicação da citocinina (2-isopenteniladenina) reduziu os valores encontrados para clorofila a, b e total.

Os reguladores vegetais apresentam potencial de modificar o conteúdo de pigmentos foliares (LONGATTI, 2012), ainda de acordo com Chaves et al. (2014), espera-se um aumento nas concentrações desses pigmentos ao decorrer do crescimento e desenvolvimento das culturas. Além disso, a resposta da planta quando se aplica biorreguladores pode variar de acordo com a espécie, estágio de desenvolvimento, balanço hormonal endógeno e idade da mesma (AFTAB et al., 2010; IDREES et al., 2010a; IDREES et al., 2010b; IDREES et al., 2011; IDREES et al., 2012; NAEEM et al., 2009, NAEEM et al., 2010; NAEEM et al., 2011).

## **CONCLUSÕES**

Concentrações reduzidas de biorreguladores, com exceção da solução T13, aplicados em sementes de manjeriço, são eficazes no crescimento e desenvolvimento das plântulas.

A aplicação de brassinosteróides e ácido giberélico exerceram respostas fisiológicas distintas, estimulando o crescimento das raízes e parte aérea das plântulas de manjeriço, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFTAB T, KHAN MM, IDRESS M, NAEEM M, SINGH M, RAM M, 2010. Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triaccontanol and gibberellic acid application. **Journal of Plant Interactions**, 1, 273-281. <https://doi.org/10.1080/17429141003647137>

AMARO HTR, ASSIS MO, DAVID AMSS, SILVEIRA JR, SILVA NETA IC, MOTA WF, 2012. Superação de dormência em sementes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 14, 218-223.

BAJGUAZ A, TRETYN A, 2003. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants. **Phytochemistry**, 62, 1027–1046. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00656-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00656-8)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. **Regras para análise de sementes**, 1ª ed. Mapa/ACS, Brasília, 380p.

BEWLEY JD, BLACK M, 1985. Seeds: physiology of development and germination. **Plenum**, New York, 74-84.

CANDIANI G, GALETI M, CARDOSO VJM, 2004. Seed germination and removal of *Michelia champaca* L. (Magnoliaceae) in eucalypt stands: the influence of the aril. **Revista Árvore**, 8 (3), 327-332. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622004000300002>

CARMONA R, REZENDE LP, PARENTE TV, 1994. Extração química de sementes de gabiroba (*Campomanesia adamantium* Camb.). **Revista Brasileira de Sementes**, 16 (1), 31-33. <https://doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v16n1p31-33>

CARVALHO AMX, MENDES FQ, 2017. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. *In: Anais da 62ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria*, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 24 a 28 de agosto de 2017, 333p.

CASTRO PRC, VIEIRA EL, 2001. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba, 74-79.

CASTRO HG, FREITAS RA, SILVA DJH, FERREIRA FA, DIAS DCFS, 2002. Influência da temperatura, luz e KNO<sub>3</sub> na germinação de sementes de *Siegesbeckia orientalis*. **Horticultura Brasileira**, 20 (2), 19-27.

CHAVES ARM, LEÃO PCS, AIDAR ST, BARBOSA NTB, COSTA NETO BP, 2014. Caracterização do índice de pigmentos em videira Syrah cultivada em dois sistemas de condução nosubmédio São Francisco, PE. *In: Simpósio Nacional de Estudos para*

Produção Vegetal no Semiárido, **Anais do I SINPROVS**, Triunfo/Serra Talhada – PE, 26 a 29 de maio de 2014.

CRUZ JG, 2017. **Qualidade de luz na micropropagação de mirtilheiro “Woodard”**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 58p.

DORNI AIC, AMALRAJ A, GOPI S, VARMA K, ANJANA SN, 2017. Novel cosmeceuticals from plants - An industry guided review. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, 7, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.05.003>

FERNANDES PC, FACANALI R, TEIXEIRA JPF, FURLANI PR, MARQUES MOM, 2004. Cultivo de manjeriço em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, 22 (2), 260-264. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362004000200019>

FUJIOKA S, SAAKURAI A, 1997. Biosynthesis and metabolism of brassinosteroids. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 100, 710-715. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03078.x> (Acessado em 10.04.2019).

GODOY AR, ALVES CZ, OLIVEIRA NC, 2012. Efeito da remoção da mucilagem na germinação e vigor de sementes de *Hylocereus undatus* Haw. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7 (4), 586-589. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1750>.

GUIMARÃES RM, OLIVEIRA JA, VIEIRA AR, 2006. Aspectos fisiológicos de sementes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 27 (32), 40-50.

GROVE MD, SPENCER GF, ROHWEDDER WK, MANDAVA N, WORLEY JF, WARTHEN JÚNIOR JD, STEFFENS GL, FLIPPEN-ANDERSON JL, COOK JC, 1979. Brassinolide, a plant growth-promoting esteroid isolated from *Brassica napus* pollen. **Nature**, 12 (281), 216-217. <https://doi.org/10.1038/281216a0>

IDREES M, KHAN MM, AFTAB T, NAEEM M, HASHMI N, 2010a. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. **Journal of Plant Interactions**, 5 (4), 293-303. <https://doi.org/10.1080/17429145.2010.508566>

IDREES M, KHAN MMA, AFTAB T, NAEEM M, 2010b. Synergistic effects of gibberellic acid and triacontanol on growth physiology, enzyme activities and essential oil content of *Coriandrum sativum* L. **The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology**, 4, 24-29.

IDREES M, NAEEM M, AFTAB T, KHAN MM, 2011. Salicylic acid mitigates salinity stress by improving antioxidant defence system and enhances vincristine and vinblastine alkaloids production in periwinkle [*Catharanthus roseus* (L.) G. Don]. **Acta Physiologiae Plantarum**, 33 (3), 987-999. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-010-0631-6> (Acessado em 30.03.2019).

IDREES M, NAEEM M, KHAN MN, AFTAB T, KHAN MM, 2012. Alleviation of salt stress in lemongrass by salicylic acid. **Protoplasma**, 249 (3), 709-720. <https://doi.org/10.1007/s00709-011-0314-1>

KAPPES C, ORIVALDO ARF, SÁ MC, FERREIRA JP, PORTUGAL JR, ALCALDE AM, VILELA RG, 2012. Reguladores de crescimento e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de crotalária. **Bioscience Journal**, Uberlândia, 28 (2), 180-190.

LIMA MGS, MENDES CR, MORAES DM, RODRIGUES MCV, 2007. Qualidade fisiológica de sementes de mamona submetidas a diferentes concentrações de giberelina. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, 5 (2), 738-740.

LONGATTI CA, 2012. **Efeito de brassinosteróide no crescimento, metabolismo e fixação de nitrogênio em plantas de *Cajanus cajan* noduladas e sob estresse salino**. Dissertação (Mestrado). Campinas, SP, 64p. Disponível em [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/315374/1/Longatti\\_ClaudiaAparecida\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/315374/1/Longatti_ClaudiaAparecida_M.pdf) (Acessado em 20/10/2019).

MAGUIRE JD, 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop science**, Madison, 2 (1), 176-177.

MACEDO WR, KITAHARA DK, CASTRO PRC, 2013. Unravelling the physiologic and metabolic action of thiamethoxam on rice plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 244-249. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.08.001>

MACEDO WR, CASTRO PRC, 2015. Biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores na agricultura tropical. *In*: **Avanços Tecnológicos Aplicados à Pesquisa na Produção Vegetal**, [s.n.], Viçosa, 554p.

MENDES AKV, CARVALHO JSB, 2015. Germinação de sementes de manjeriço em diferentes condições ambientais. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, 1 (1), 21-27. Disponível em <http://www.revistacta.ufscar.br/index.php/revistacta/article/view/7/6> (Acessado em 16.04.2019).

MENEZES NL, ESPINDOLA MCG, PASQUALLI LL, SANTOS CMR, FRAZIN SM, 2006. Associação de tratamentos pré-germinativos em sementes de alface. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, 13 (1), 1-11. Disponível em <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/view/2334/1821> (Acessado em 16.03.2019).

MURAKAMI DM, BIZÃO N, VIEIRA RD, 2011. Quebra de dormência de semente de murici. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33 (4), 1257-1265. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000400026>

NAEEM M, KHAN MM, SIDDIQUI MH, 2009. Triacantanol stimulates nitrogen-fixation, enzyme activities, photosynthesis, crop productivity and quality of hyacinth bean (*Lablab purpureus* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 121 (4), 389-396. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.030>

NAEEM M, IDREES M, AFTAB T, KHAN MM, MOINUDDIN MH, 2010. Changes in photosynthesis, enzyme activities and production of anthraquinone and sennoside content of coffee senna (*Senna occidentalis* L.) by triacontanol. **International Journal of Plant Developmental Biology**, Aligarh Muslim University, Aligarh, India, 4 (1), 53-59. Disponível em [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/\\_4\(1\)/IJPDB\\_4\(1\)53-59o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/_4(1)/IJPDB_4(1)53-59o.pdf) (Acessado em 14.04.2019).

NAEEM M, KHAN MMA, IDREES M, AFTAB T, 2011. Triacontanol-mediated regulation of growth yield, physiological activities and active constituents of *Mentha arvensis* L. **Plant Growth Regulation**, 65 (1), 195-206. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9588-8>

OLIVEIRA GP, ARAÚJO DV, ALBUQUERQUE MCF, MAGNANI EBZ, MAINARDI JT, 2012. Avaliação física, fisiológica e sanitária de sementes de soja de duas regiões de Mato Grosso. **Revista Agrarian**, 5 (16), 106-114.

ONO EO, GRANA JÚNIOR JF, RODRIGUES JD, 2004. Reguladores vegetais na quebra da dominância apical de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, 26 (2), 348-350. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452004000200040>

PAULUS D, VALMORBIDA R, FERREIRA SB, ZORZZI IC, NAVA GA, 2016. Biomassa e composição do óleo essencial de manjeriço cultivado sob malhas fotoconversoras e colhido em diferentes épocas. **Horticultura Brasileira**, 34 (1), 46-53. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000100007>

PASSOS IRS, MATOS GVC, MELETTI LMM, SCOTT MDS, BERNACCI LC, VIEIRA MAR, 2004. Utilização do ácido giberélico para a quebra de dormência de sementes de *Passiflora nitida* Kunth germinadas *in vitro*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, 26 (2), 380-381.

PIRES LR, LOPES GC, MARTINS FILHO S, 2002. Efeitos de substratos e condicionantes de solo na germinação de sementes de girassol (*Helianthus annuus*). **Horticultura Brasileira**, 20 (2), 32-39.

POWELL AA, MATTHEWS S, 1988. Seed treatments: developments and prospects. **Outlook on Agriculture**, 17 (3), 90-103. <https://doi.org/10.1177/003072708801700302> (Acessado em 20/09/2019)

RODRIGUES JD, FIOREZE SL, 2015. Reguladores são, para muitos cultivos, indispensáveis ao alcance de bons níveis. **Visão Agrícola**, 13, 35-39. Disponível em [http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA\\_13\\_Fisiologia-artigo4.pdf](http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Fisiologia-artigo4.pdf) (Acessado em 04.11.2018).

SANTOS TM, 2015. **Germinação e dormência de sementes de passifloráceas e seleção de genótipos resistentes à *Fusarium* spp.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2-3.

SÃO-JOSÉ AR, NAKAGAWA J, 1987. Efeitos da fermentação e secagem na germinação de sementes de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Sementes**, 9 (2), 35-43. <http://dx.doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v9n2p35-43>

SILVA TCFS, SILVA RCB, SILVA JESB, SANTOS RS, ARAGÃO CA, DANTAS BF, 2014. Germinação de sementes de melancia sob diferentes métodos de tratamento com reguladores vegetais. **Scientia Plena**, Juazeiro-BA,10 (3),1-15. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101376/1/Barbara.pdf> (Acessado em 12.03.2019).

TAIZ L, ZEIGER E, 2004. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, Artmed, 449-484.

WITHAM FH, BLAYDES DF, DEVLIN RM, 1971. Experiments in plant physiology. **D. Van Nostrand**, 55-58.

## **CAPÍTULO 2 – ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E METABÓLICAS EM VARIEDADES DE MANJERICÃO (*OCIMUM BASILICUM* L.) SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

**RESUMO:** Poucos estudos relatam sobre técnicas modernas de cultivo de plantas medicinais e aromáticas, sendo que a produtividade pode ser afetada por diversos fatores, dentre eles àqueles classificados como abióticos. A disponibilidade hídrica é capaz de influenciar tanto a produção como a composição dos metabólitos secundários, estes considerados o produto com maior valor agregado. Diante disso, objetivou-se avaliar a influência das distintas disponibilidades hídricas sobre características fisiológicas e metabólicas em três variedades de manjeriço. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se um esquema fatorial 3x2, sendo três variedades de manjeriço (Alfavaca basilicão, Gennaro de menta e Grecco à Palla) e dois níveis de água no solo (60 e 80% da capacidade de campo), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. A umidade do solo foi monitorada por meio da pesagem diária dos vasos. A pesquisa consistiu em dois experimentos, o primeiro realizado aos 75 dias após o plantio (DAP) (fase vegetativa) e o segundo aos 120 DAP (fase de florescimento). Em ambos se avaliaram características fisiológicas e bioquímicas. Verificou-se que no primeiro experimento, o estresse moderado não prejudicou o conteúdo de água foliar, enquanto aumentou a atividade enzimática da CAT para o alfavaca basilicão e reduziu os teores de clorofila *a* e *b*, em contrapartida aumentou o teor de carotenoides para o Grecco à palla. Quanto aos óleos essenciais, observou-se que o nerolidol demonstrou maior expressividade no Grecco à palla e Gennaro de menta, e o linalol para o alfavaca basilicão, quando em déficit hídrico. No segundo experimento, constatou-se que o estresse moderado reduziu o conteúdo de água foliar nas variedades Alfavaca basilicão e Grecco à palla, elevou o extravasamento de eletrólitos e o teor de prolina em todas as variedades, porém reduziu o teor dos pigmentos foliares para o material Gennaro de menta. Quanto às trocas gasosas, somente aos três dias de restrição reduziu a assimilação de CO<sub>2</sub>, a condutância estomática e a transpiração foliar para o material Alfavaca basilicão, enquanto o Grecco à palla elevou sua eficiência de uso de água sem estresse. Pode-se concluir que as plantas se comportam de formas distintas de acordo com seu estágio fenológico, onde as variedades demonstraram tolerância à seca na fase vegetativa e, na fase de florescimento, apresentaram

respostas fisiológicas conjuntas afim de conferir maior resistência às condições adversas impostas.

**Palavras-chave:** Estresse hídrico. Plantas medicinais. Óleos essenciais. Trocas gasosas.

**Abstract:** Few studies showed modern techniques for medicinal and aromatics plants cultivation, being the productivity may be affected by several factors, including abiotic stress. Water availability is able to influence both the production and the composition of secondary metabolites, these last are considered the major product of medicinal and aromatics plants, with highest added value. The objective of this study was to evaluate the influence of distinct water availability on physiological and metabolic characteristics in three basil varieties. The experiment was carried out in a greenhouse using a factorial scheme 3 x 2, with three basil varieties (Alfavaca basilicão, Gennaro de menta and Grecco à Palla) and two soil water moisture (60 and 80% of field capacity), in a completely randomized design with four replications. Soil moisture was monitored by daily pot weighing. The research consisted of two experiments, the first was performed at 75 DAP (during vegetative stage) and the second at 120 DAP (during flowering stage). In both experiments we evaluated physiological and biochemical parameters. In the first experiment, moderate stress did not affect leaf water content, while increasing the enzymatic activity of CAT for Alfavaca basilicão and reducing the content of chlorophyll a and b, in contrast increasing the content of carotenoid for Grecco a palla. For essential oils, it was observed that nerolidol showed greater expressiveness in Grecco à palla and Gennaro de menta, and linalol for Alfavava basilicão, when in drought stress. In the second experiment, it was found that 80 % of soil moisture reduced relative water content in the leaf of Alfavaca basilicão and Grecco à palla varieties, and increased electrolyte leakage and proline content in all varieties, however reduced leaf pigment content for Gennaro de menta. For gas exchange, after three days of water restricto there was reduced CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance and leaf transpiration for Alfavaca basilicão, while Grecco à palla increased its efficiency of use of photosynthetic water in 80% of soil moisture. We conclude that the plants had different behavior according to their phenological stage, where the varieties showed drought tolerance in the vegetative phase and, in the flowering phase, presented joint physiological responses in order to confer greater resistance to the imposed adverse conditions.

**Key-words:** Drought stress. Medicinal plants. Essential oils. Gas exchange.

## INTRODUÇÃO

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) destaca-se como uma importante planta medicinal e aromática, graças aos principais componentes do seu óleo essencial, sendo o linalol, um terpeno, e o eugenol, um fenilpropanóide (DOU et al., 2018; DOU et al., 2019). As plantas dessa espécie são muito sensíveis às condições ambientais, e isso acarreta grandes perdas agrônômicas e econômicas (ENKHBILEG et al., 2019).

Alterações nas condições ambientais e de cultivo obrigam as plantas a adaptarem seu sistema fotossintético, e isso modifica seu desempenho fisiológico (GONÇALVES et al., 2019). Entre as condições ambientais que mais impactam o manjeriço, a disponibilidade de água figura como um fator primordial para essa espécie, estudos apontam que o estresse hídrico afeta negativamente processos fisiológicos e, conseqüentemente, o crescimento das plantas (AFKARI, 2018; JANUŠKAITIENĖ et al., 2019.)

O déficit hídrico afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento da planta por controlar a abertura e fechamento de estômatos, pois a falta de água no solo ocasiona a redução do potencial de água na folha e sua condutância estomática, resultando no bloqueio do fluxo de CO<sub>2</sub>, redução no acúmulo de fotoassimilados e reduzindo a produtividade (GHOLZ et al., 1990; BIANCHI et al., 2016).

A tolerância ao estresse durante o desenvolvimento da planta é uma característica de extrema importância para garantir sua sobrevivência, respostas como a redução da área foliar, abscisão foliar, limitação da fotossíntese e o fechamento de estômatos são mecanismos de tolerância à seca (MIRFAZELI et al., 2015).

O controle do déficit hídrico é o grande desafio para a produção agrícola, no entanto, quando estimado e contido, o estresse hídrico pode ser aplicado como uma forma de empregar os recursos hídricos de forma sustentável, e, ao mesmo tempo, aumentar a produção de metabólitos secundários, em cultivos de espécies medicinais e aromáticas (MOTA, 2018).

Tendo em vista o reduzido número de trabalhos a respeito do efeito da disponibilidade hídrica nas características fisiológicas e bioquímicas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do déficit hídrico em três variedades de *O.*

*basilicum* (Alfavaca Basilicão, Gennaro de Menta e Grecco À Palla) em diferentes estádios fenológicos da espécie.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no laboratório de Fisiologia e Metabolismo da Produção Vegetal (LAFIMEPRO), da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, com o plantio de manjeriço em vasos, no interior de casa de vegetação, durante o período de 125 dias (setembro de 2018 a fevereiro de 2019).

As plantas foram obtidas a partir de sementes comerciais (ISLA Sementes) e a semeadura realizada em bandejas de polietileno de 128 células contendo substrato comercial (Plantmax®). No transplante foram utilizados vasos plásticos de 5L de capacidade, preenchidos com latossolo argiloso previamente peneirado, o qual ocorreu 28 dias após a semeadura. Foi realizada análise do solo utilizado e obteve-se as seguintes características: Matéria Orgânica: 26 g dm<sup>-3</sup>; P: 8 mg dm<sup>-3</sup>; K: 2,2 mmol dm<sup>-3</sup>; Ca: 33 mmol dm<sup>-3</sup>; Mg: 10 mmol d<sup>-3</sup>; pH: 5,3. Em ambos os experimentos houve a adubação no transplante, conforme a recomendação da empresa fornecedora das sementes, sendo 30g de adubo formulado a base de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) por m<sup>2</sup> de área, onde utilizamos o formulado 08-28-16 (N-P-K), o controle de plantas invasoras de forma manual, aplicação do inseticida thiamethoxam (300g 100 L<sup>-1</sup>) e irrigação manual (três vezes ao dia), afim de manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

A irrigação dos vasos levou em conta a capacidade máxima de retenção da água do solo em estudo, utilizando a metodologia da pesagem dos vasos proposta por Klar (1966) e Fernandes & Syke (1968). Foi considerado que 80% da capacidade de campo seria uma condição adequada de disponibilidade de água às plantas e 60% da capacidade de campo uma condição de estresse moderado às plantas. Assim desde o plantio todos os vasos foram mantidos irrigados a 80% da capacidade de campo, até o momento da imposição da restrição hídrica moderada, que nesta pesquisa foi adotado o valor de 60 % da capacidade de campo, com acompanhamento diário para reposição da água evapotranspirada (três vezes ao dia) sempre que a variação entre a massa inicial do vaso e a massa obtida no dia da avaliação fosse inferior a 5%, conseqüentemente, a diferença entre as massas correspondeu à quantidade de água a ser completada (MARIN, 2003).

Esta pesquisa consistiu em avaliações fisiológicas e bioquímicas em estádios fenológicos distintos, onde ocorreu a utilização das mesmas plantas durante os dois estágios fenológicos (vegetativo e reprodutivo), porém com distintos ciclos de déficit hídrico, sendo o primeiro ciclo na fase vegetativa, com a posterior reidratação, e uma retomada do segundo ciclo de déficit hídrico na fase reprodutiva.

A primeira avaliação, realizada durante o estágio vegetativo, onde o déficit hídrico foi imposto aos 75 dias após o plantio (DAP), com avaliação de: conteúdo relativo de água (CRA), proteína total solúvel (PTS), atividade de enzimas antioxidantes (CAT e APX), pigmentos foliares fotossintetizantes (clorofilas *a*; *b*; total e carotenoides), e o teor de óleos essenciais.

Para o conteúdo relativo de água (CRA), logo após a coleta, foram retirados 10 discos foliares e o peso fresco (PF) foi registrado de imediato. Os discos foliares foram mantidos em 20mL de água durante 24 horas e, posteriormente, obteve-se o peso úmido (PU). Em seguida, o material vegetal foi seco por 72 horas a 70° C em estufa e o peso seco (PS) foi anotado. O CRA foi calculado através da fórmula:

$$CRA(\%) = \left[ \frac{PF - PS}{PU - PS} \right] \times 100$$

O método utilizado para a determinação dos teores de proteínas totais solúveis (PTS) foliares foi o descrito por Bradford (1976). A reação foi preparada com 20 µL do extrato protéico, somado a 3,0 mL de reagente de Bradford, pronto para uso (LGC Biotecnologia, Cotia, SP, Brasil). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm, e a concentração de PTS calculada a partir da curva padrão preparada com albumina de soro bovino (BSA). Os resultados obtidos foram expressos em mg de proteína por g<sup>-1</sup> de matéria fresca.

Para quantificar a atividade das enzimas antioxidantes, ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), foram utilizadas as seguintes metodologias:

A atividade de APX foi determinada conforme o método descrito por Nakano e Asada (1981). A mistura da reação foi constituída de tampão fosfato de potássio 80 mM pH 7,0; ascorbato (5mM); EDTA (1mM); H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1mM) e extrato vegetal. A degradação do peróxido de hidrogênio durante um minuto determina, através de alterações na absorvância a 290 nm, determina sua atividade. Os resultados foram expressos em µmol APX min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> PTS.

Enquanto a atividade de CAT foi determinada pela adição de 100  $\mu\text{L}$  do extrato protéico, em 2,9 mL de uma solução contendo 12,5 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  e 50mM de tampão fosfato de potássio, em pH 7,0, com medições na diminuição da absorbância a 240 nm, em espectrofotômetro, a 30°C. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol CAT min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{PTS}$  (HAVIR e McHALE, 1987).

A quantificação dos pigmentos foliares, clorofila *a* (*Chl. a*), clorofila *b* (*Chl. b*), clorofila total (*Chl. total*) e carotenoides (*Car*), foi avaliada através de extração com uso de solvente (80% acetona), modificada segundo Macedo et al. (2013), sem o processo de maceração dos tecidos vegetais. O material vegetal foi acondicionado em tubos plásticos (50mL) contendo solução de acetona 80% (v/v) e foram mantidos no escuro por 72 horas. Posteriormente, os extratos foram submetidos à leitura em um espectrofotômetro (SP-2000 Espectro de UV) nas absorbâncias (WITHAM et al., 1971) de 663, 645 e 470 nm, para determinação das clorofilas *a*, *b* e carotenóides, respectivamente. Os valores obtidos foram utilizados para cálculos dos resultados, e estes foram expressos em miligramas por grama de pigmento no tecido foliar fresco ( $\text{mg g}^{-1}$ ).

A obtenção dos óleos essenciais foi realizada através do método de hidrodestilação, utilizando aparelho de CLEVINGER, usando-se 100 g das folhas secas, em 1000 mL de água destilada, em temperatura máxima de 100 °C, o tempo de extração foi de 90 minutos, após a primeira gota. A análise química dos óleos essenciais foi por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), em um equipamento modelo QP2010 (Shimadzu). A identificação dos compostos se deu através da comparação dos espectros de massas com os existentes na biblioteca NIST, interpretação visual dos espectros de massas e comparação dos índices de retenção. O percentual relativo de cada composto foi calculado através da razão entre área de cada pico com a área total de todos os constituintes da amostra.

Já na segunda avaliação, foi imposto um segundo déficit hídrico aos 120 dias após o plantio (DAP), com duração de três dias, coincidindo com a fase fenológica de pleno florescimento e formação de sementes, considerados estádios críticos à restrição hídrica. Foram avaliadas trocas gasosas, conteúdo de pigmentos foliares, teor de prolina, extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água (CRA).

As avaliações das trocas gasosas incluíram a mensuração da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (*A*) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração foliar (*E*) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e condutância estomática (*gs*) ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), de posse desses dados, foi quantificada

a eficiência do uso da água ( $A/E$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ]. As mensurações ocorreram durante os três dias de restrição hídrica, no período de 9:00 às 10:00 hs, com auxílio do analisador de trocas gasosas, modelo LI-6400 XT (Li-Cor Biosciences, USA), acoplado a um fluorômetro, com densidade de fluxo de fótons de  $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Para a variedade Gennaro de menta não foi possível realizar essas avaliações, em decorrência do tamanho reduzido do limbo foliar.

O teor de prolina foi quantificado conforme Bates et al. (1973), cujos valores foram quantificados através de espectroscopia de fluorescência.

Para o extravasamento de eletrólitos (EE) utilizou-se o método proposto por Blum e Ebercon (1981), adaptado por Silveira et al. (2001), onde foi determinada a condutividade elétrica (L1) de uma solução de água destilada (20mL) que continha 10 discos foliares imersos por 24 horas. As amostras permaneceram em banho-maria a  $100^\circ\text{C}$  por uma hora e, posteriormente, a condutividade elétrica da solução foi mensurada novamente (L2). Obteve-se a quantificação (%) do extravasamento de eletrólitos através da fórmula:

$$EE(\%) = \left(\frac{L1}{L2}\right) \times 100$$

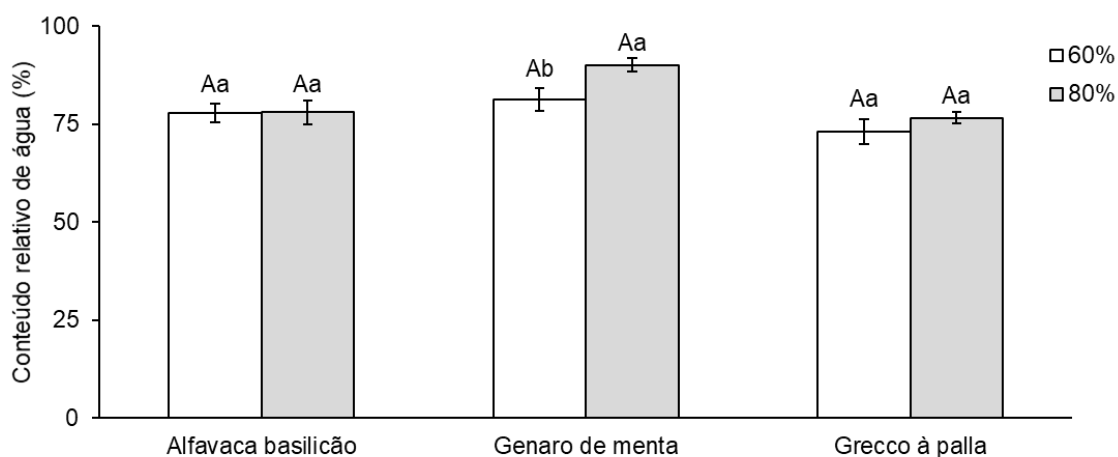
O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $3 \times 2$  (cultivares x níveis de água), sendo três variedades de manjerição (*Ocimum basilicum* L.): Gennaro de Menta, Grecco a Palla e Alfavaca basilicão, e dois níveis de água 60% (estresse moderado) e 80% (sem estresse) com base na capacidade total de retenção de água do solo, totalizando seis tratamentos e quatro repetições. Para as trocas gasosas, foi utilizado o esquema fatorial  $2 \times 2$  (2 níveis de água e 2 cultivares), em decorrência da inviabilidade de realizar as mensurações na variedade Gennaro de menta.

Os dados obtidos de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com comparações entre médias dos tratamentos experimentais pelo teste F seguido da aplicação do teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico *Speed Stat* (CARVALHO e MENDES, 2017). Para análise de óleos essenciais, as médias foram avaliadas por análise de componentes principais (ACP), com auxílio do software PAST (HAMMER et al., 2001).

## RESULTADOS

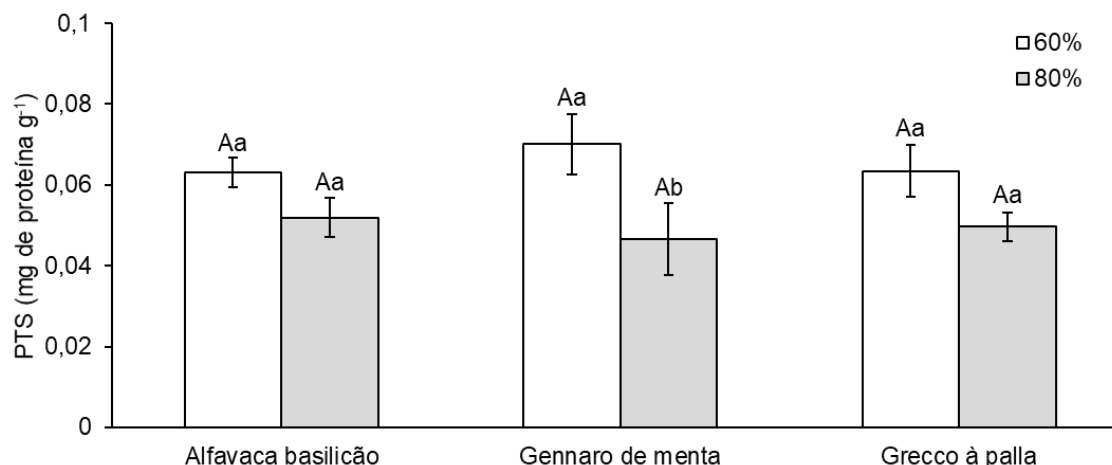
### 1ª Avaliação: Experimento: avaliações na fase vegetativa

Os resultados obtidos para o conteúdo relativo de água (Figura 1), demonstraram que ao nível de 80% de água no solo não houve diferença significativa entre as variedades. O déficit hídrico não influenciou a quantidade de água foliar para as variedades Alfavaca basilicão e Grecco à palla, onde somente a variedade Gennaro de menta apresentou redução significativa quando imposto à essa condição.



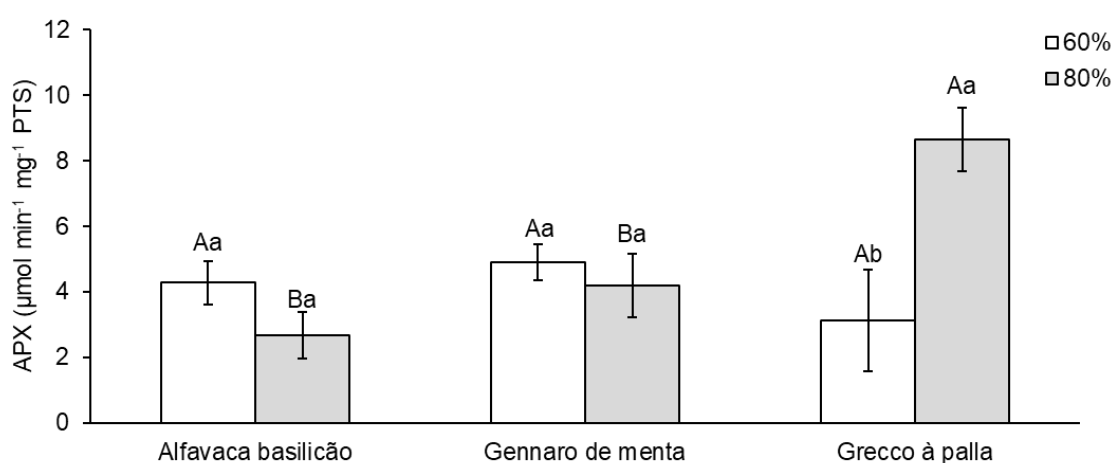
**Figura 1** – Conteúdo relativo de água em folhas aos 75 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

Para o conteúdo de proteínas totais solúveis (Figura 2), os resultados não apresentaram interação significativa, entre os níveis de água e as variedades em estudo, entretanto, a variedade Gennaro de menta mostrou redução significativa no conteúdo de proteínas totais solúveis quando submetido ao nível de 80% de água no solo.



**Figura 2** – Conteúdo de proteínas totais solúveis (PTS) em folhas de manjeriço aos 75 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

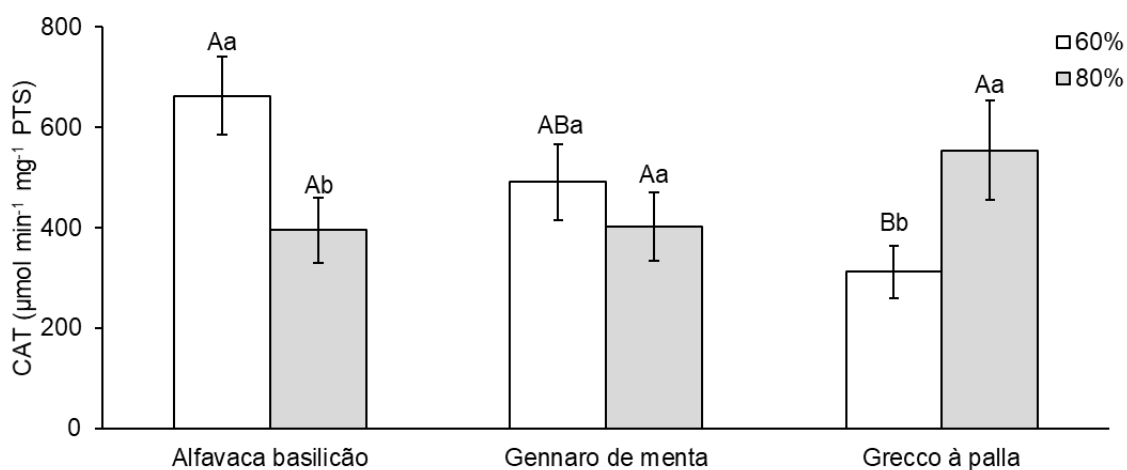
Ao nível de 60% de água no solo não observamos diferenças significativas entre as variedades para a atividade da APX (Figura 3), porém ao nível de 80% foi constatado que o genótipo Grecco à palla apresentou incremento nessa atividade, indicando uma maior produção de espécies reativas de oxigênio. E ao avaliarmos o desdobramento dentro das variedades, constatou-se que o Grecco à palla teve maior atividade da enzima APX ao nível de 80% de água, se comparado às demais variedades.



**Figura 3** – Atividade da enzima antioxidante ascorbato peroxidase (APX) em plantas de manjeriço aos 75 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem

estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

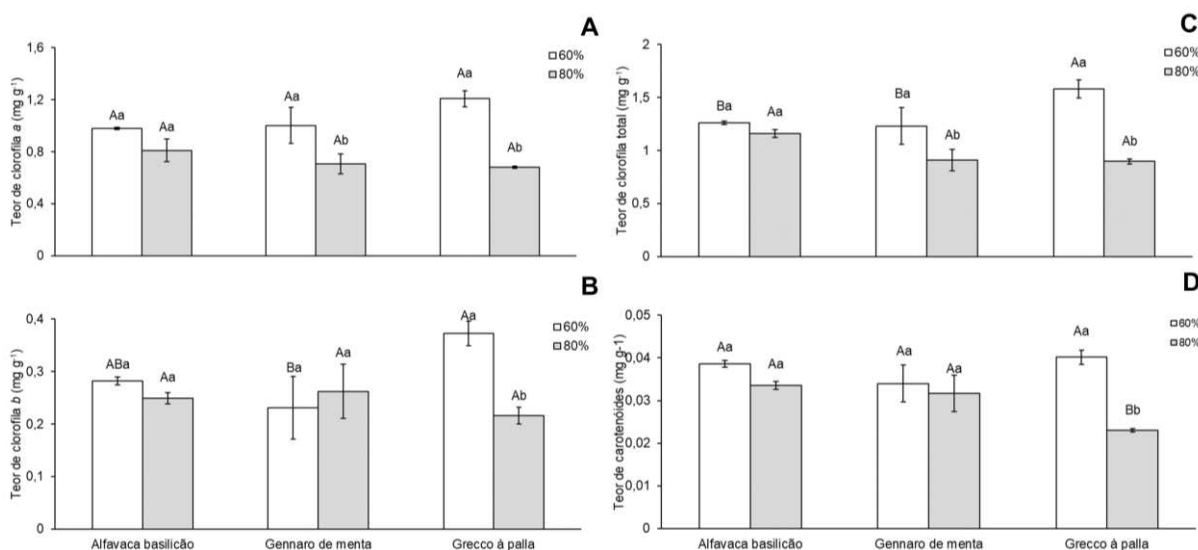
A variedade Grecco à palla demonstrou menor atividade da CAT sob estresse, quando a umidade do solo se encontrava na faixa de 60% (Figura 4), enquanto ao nível de 80% de água não encontramos diferenças significativas entre as variedades. Para o desdobramento da análise estatística, visualizou-se que o Alfavaca basilicão apresentou a menor atividade da enzima ao nível de 80% e, em contrapartida, o Grecco à palla apresentou menor atividade enzimática ao nível de 60% de água no solo.



**Figura 4** – Atividade da enzima antioxidante catalase (CAT) em plantas de manjeriço aos 75 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

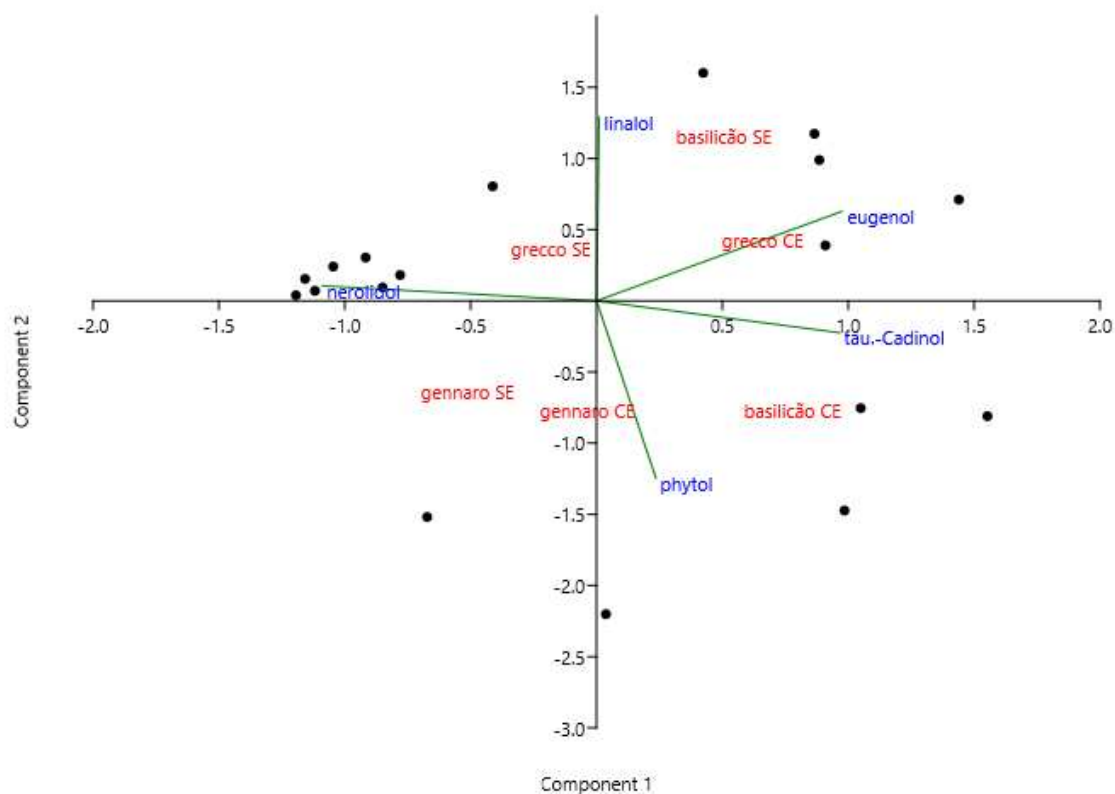
Não houve interação significativa para a variável teor de clorofila *a* (Figura 5A), porém as variedades Gennaro de menta e Grecco à palla apresentaram menores teores ao nível de 60% de água. Quanto ao teor de clorofila *b* (Figura 5B), o déficit hídrico reduziu o teor na variedade Gennaro de menta, enquanto ao nível de 80% de água não foram observadas diferenças significativas. E ao analisarmos o teor de clorofila total (Figura 5C), foi possível constatar que o estresse moderado aumentou significativamente para o Grecco à palla, enquanto para as plantas que não foram submetidas ao estresse, não houve alterações no teor. Para as variedades Gennaro

de menta e Grecco à palla foi possível detectar redução em sua clorofila total ao nível de 80% de água no solo. Quanto ao teor de carotenoides (Figura 5D) não foi observado diferença significativa quando as plantas foram expostas ao déficit hídrico e, ao nível de 80% de água no solo, o Grecco à palla apresentou menor teor quando comparado às demais variedades.



**Figura 5** – Teor de pigmentos fotossintetizantes, clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), clorofila total (C) e carotenóides (D) em folhas de manjeriço aos 75 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

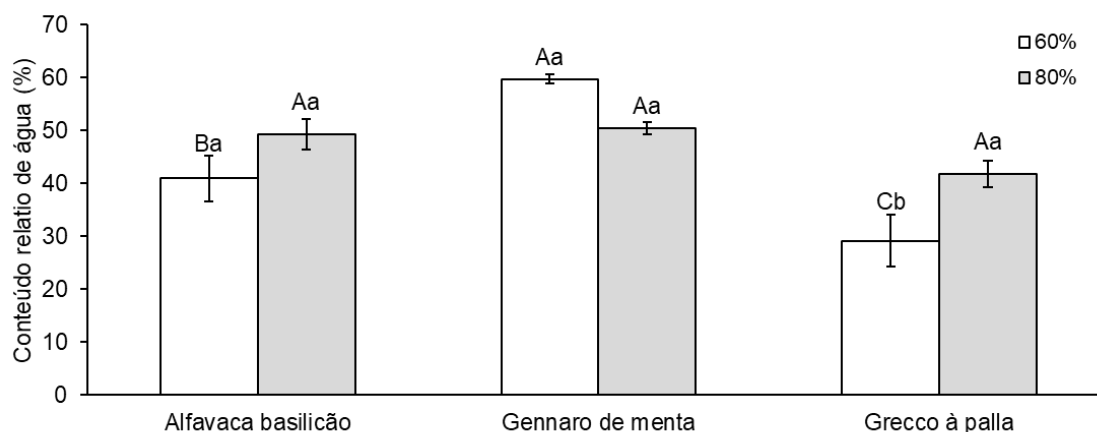
Para avaliação dos óleos essenciais, através de análise dos componentes principais, foram observados relações ou agrupamentos entre as variáveis analisadas, e neste estudo a relação primordial se refere ao estudo de 3 variedades de manjeriço submetidas aos níveis de 60 e 80% de umidade no solo (Figura 6). Assim considerando os componentes principais 1 e 2, explicam 83.88% da variância observada no experimento. Além disso, nota-se que o eugenol e linalol foram os compostos mais expressivos para o *Alfavaca basilicão* ao nível de 80% de água no solo e para o *Grecco à palla* sob estresse moderado.



**Figura 6** – Gráfico biplot para as variedades de manjeriço submetidas aos distintos níveis de água no solo: com estresse (CE) ou sem estresse (SE), em relação à constituição dos óleos essenciais.

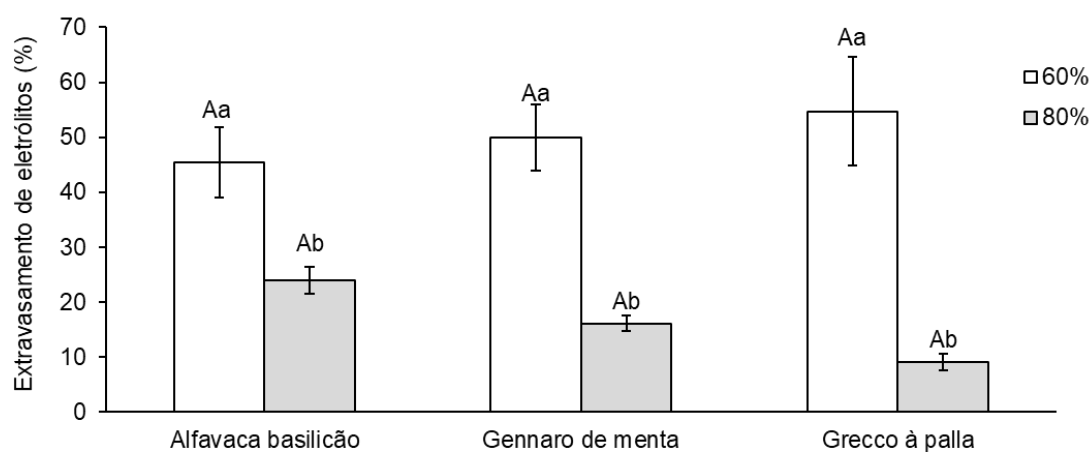
## 2º Experimento: avaliação durante o florescimento

Para o CRA (Figura 7), não houve diferença significativa entre as variedades ao nível de 80% água, porém ao nível de 60% de água no solo as variedades apresentaram comportamento distintos, sendo o Gennaro de menta aquele material que melhor conseguiu estabilizar o conteúdo de água nas folhas, enquanto o Grecco a palla apresentou reduções significativas em detrimento do déficit hídrico.



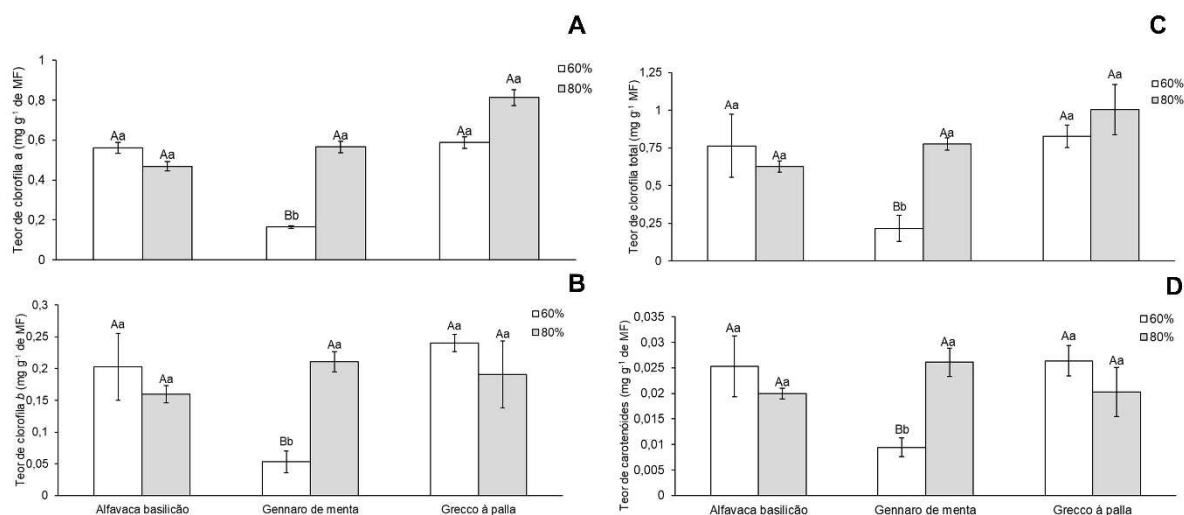
**Figura 7** – Conteúdo relativo de água das folhas aos 120 DAP. \*Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

O extravasamento de eletrólitos celulares (Figura 8) foi maior nas plantas submetidas ao déficit hídrico, onde observou-se danos nas magnitudes, aproximadas, de: 29; 30 e 40% para Alfavaca basilicão, Gennaro de menta e Grecco à palla, respectivamente, quando comparadas às plantas ao tratamento de 80% de umidade no solo.



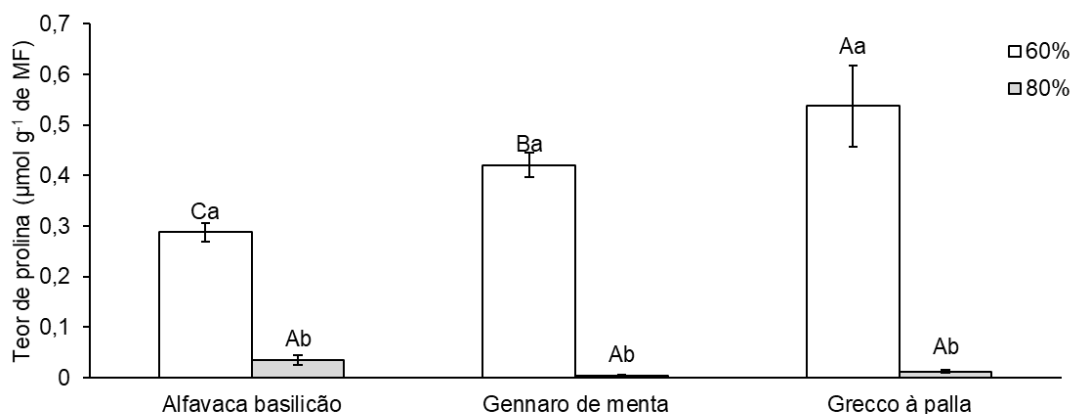
**Figura 8** – Extravasamento de eletrólitos das folhas aos 120 DAP. \*Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

Os teores dos pigmentos fotossintéticos (Figura 9) foram influenciados pelo déficit hídrico, no tratamento com 60% de umidade no solo, e somente para a variedade gennaro de menta, a qual apresentou menor valor dentre as demais, enquanto as variedades alfavaca basilicão e grecco à palla, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.



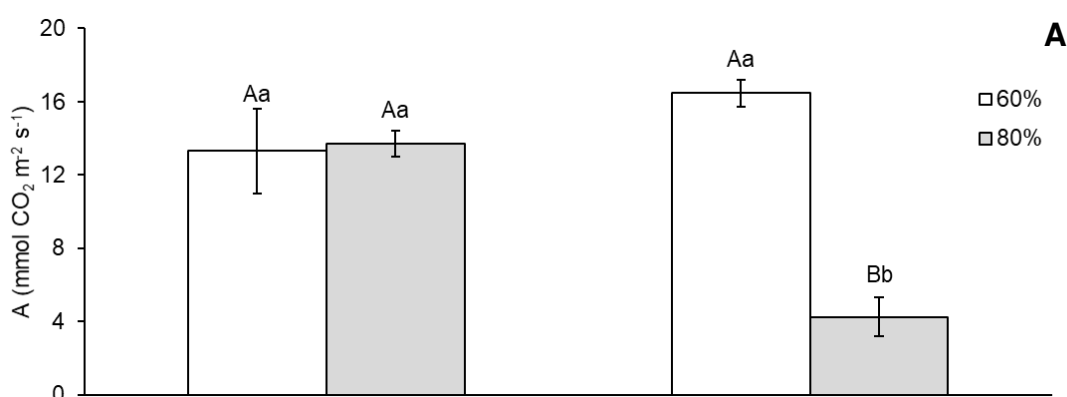
**Figura 9** – Teor de pigmentos fotossintetizantes: clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), clorofila total (C) e carotenóides (D) em plantas de manjeriço aos 120 DAP. \*Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

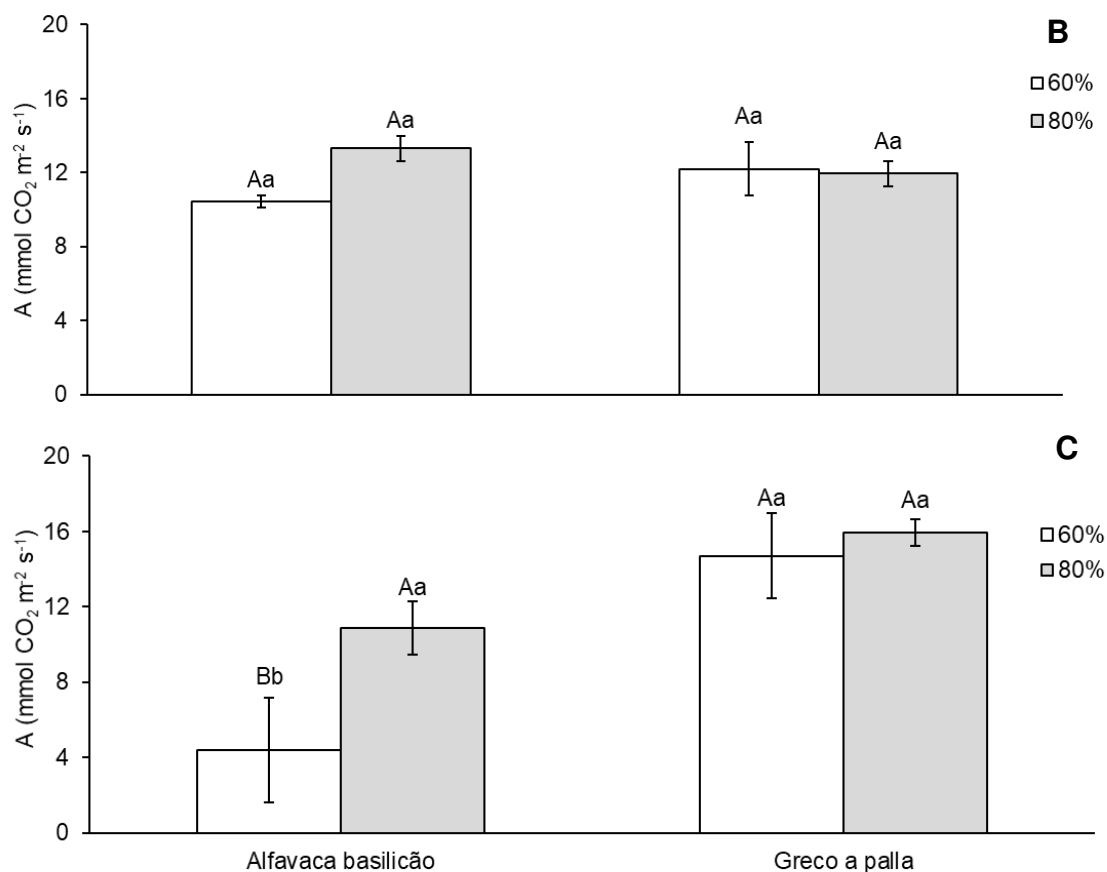
Os teores de prolina (Figura 10) aumentaram significativamente, com expressivos ganhos no acúmulo deste osmorregulador, durante a restrição hídrica, valores que atingiram médias significativas de: 860; 935; e 2430%, para alfavaca basilicão, gennaro de menta e grecco à palla, respectivamente. Entre as variedades, o grecco à palla apresentou a maior produção de prolina, seguida pelo gennaro de menta e alfavaca basilicão, indicando que este material apresenta mecanismo altamente especializado para a manutenção do turgor celular, se comparado as demais variedades.



**Figura 10** – Teor de prolina em plantas de manjeriço aos 120 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

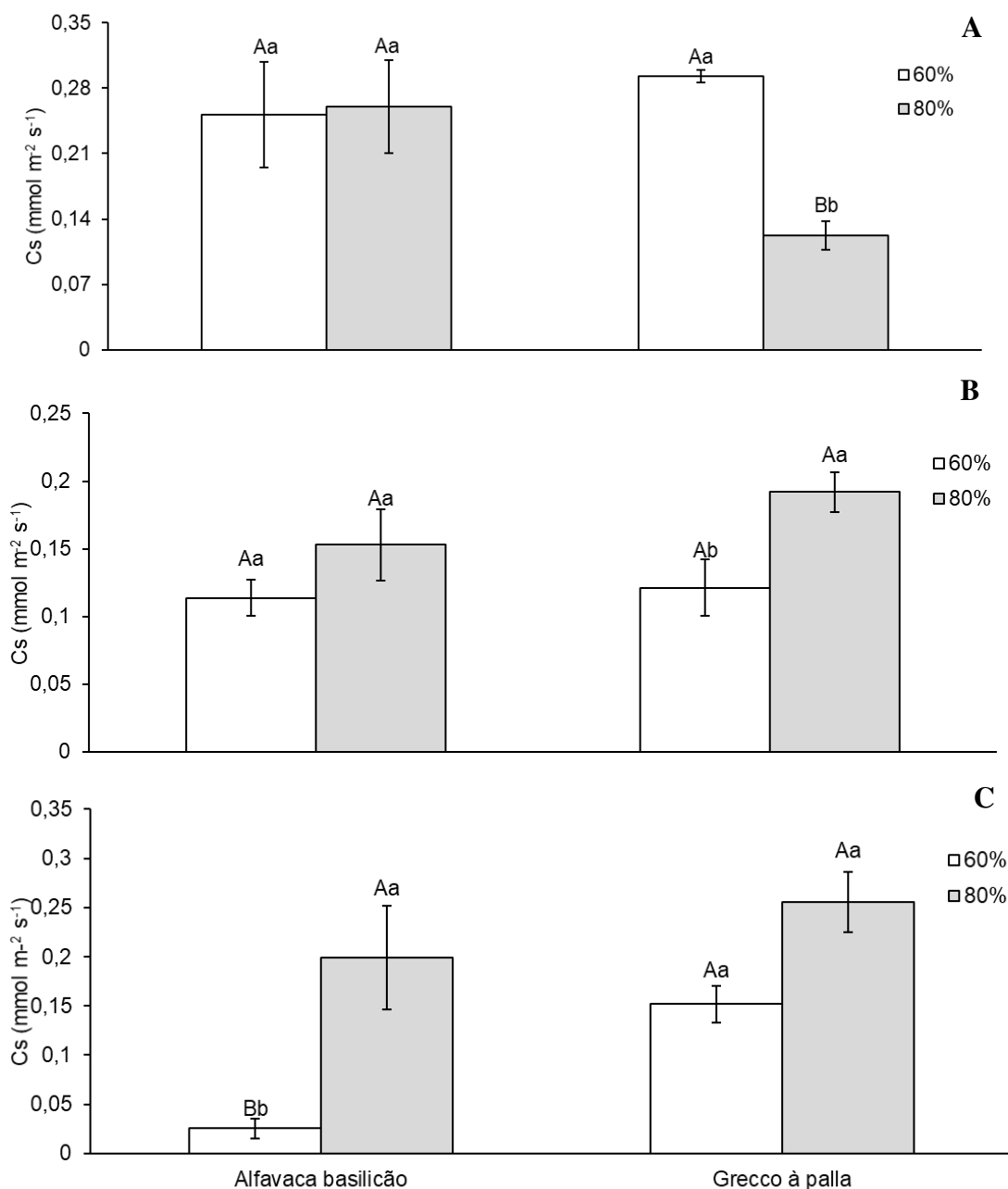
Para as trocas gasosas constatou-se que a taxa de assimilação de carbono (Figura 11), 1 dia (Figura 11A) e 3 dias (Figura 11C) após a imposição do déficit hídrico não demonstrou interação significativa, enquanto para 2 dias (Figura 11B) após não foram encontradas diferenças significativas. No primeiro dia após a imposição do déficit, a variedade grecco à palla apresentou menor valor quando submetido à 80% do nível de água do solo e, 3 dias após, somente o alfavaca basilicão obteve redução em sua assimilação quando exposto ao estresse moderado.





**Figura 11** – Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) em duas variedades de manjerição no primeiro (A), segundo (B) e terceiro dia (C) após imposição do déficit hídrico aos 120 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

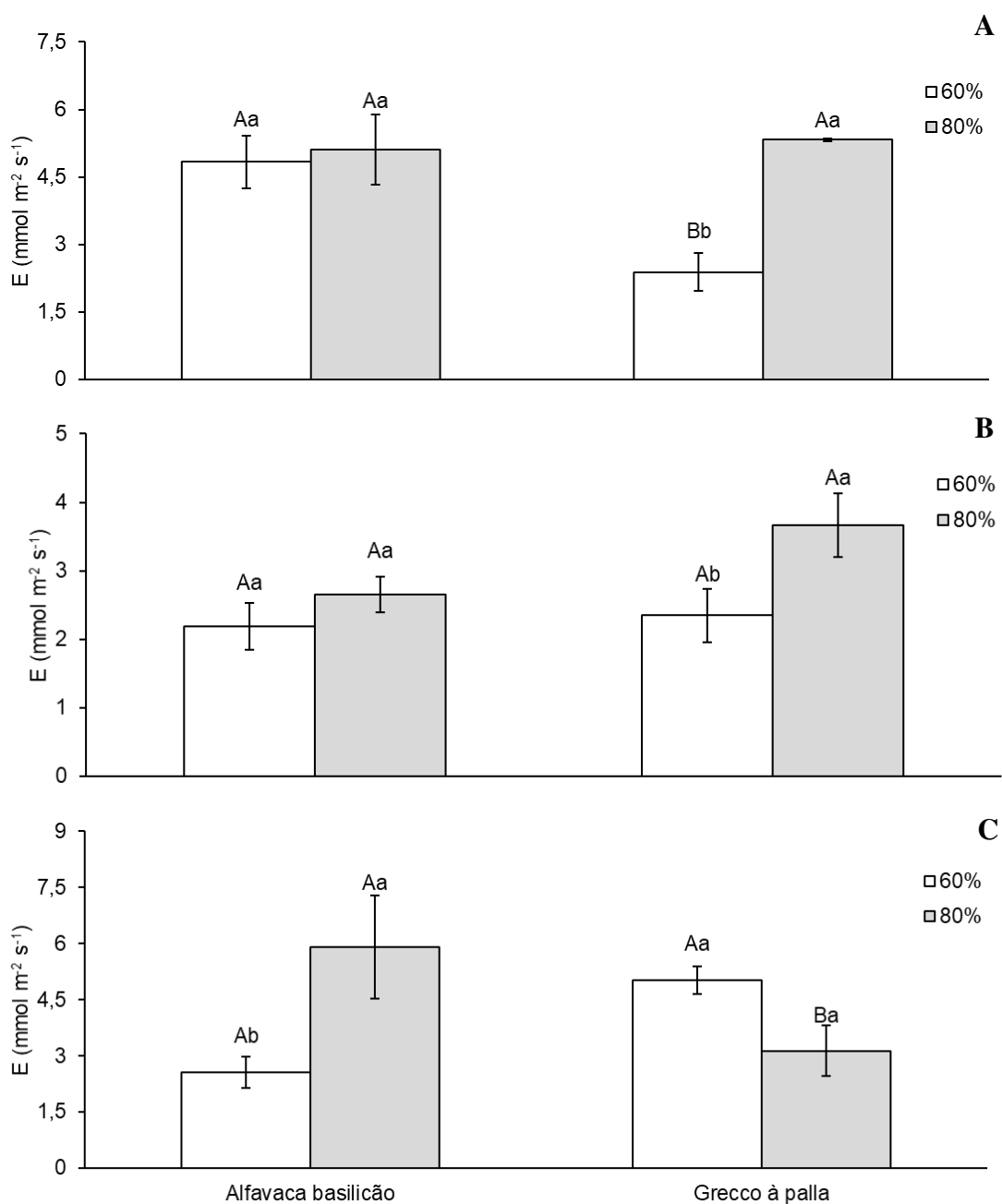
Quanto à condutância estomática (Figura 12), nota-se que as variedades apresentaram comportamento semelhante à taxa de assimilação líquida de carbono no primeiro (Figura 12A) e terceiro dia (Figura 12C) após a imposição do estresse moderado, o que difere dos resultados para o segundo dia (Figura 12B), onde somente o grecco à palla reduziu sua condutância quando em estado de déficit hídrico.



**Figura 12** – Condutância estomática ( $G_s$ ) em duas variedades de manjericão no primeiro (A), segundo (B) e terceiro dia (C) após imposição do déficit hídrico aos 120 DAP. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

Os resultados obtidos para a taxa de transpiração foliar (Figura 13) demonstram que, no primeiro dia (Figura 13A) após a imposição do déficit hídrico, houve interação significativa, onde a variedade grecco à palla apresentou redução na mesma quando em estresse moderado. No segundo dia (Figura 13B) após a restrição hídrica,

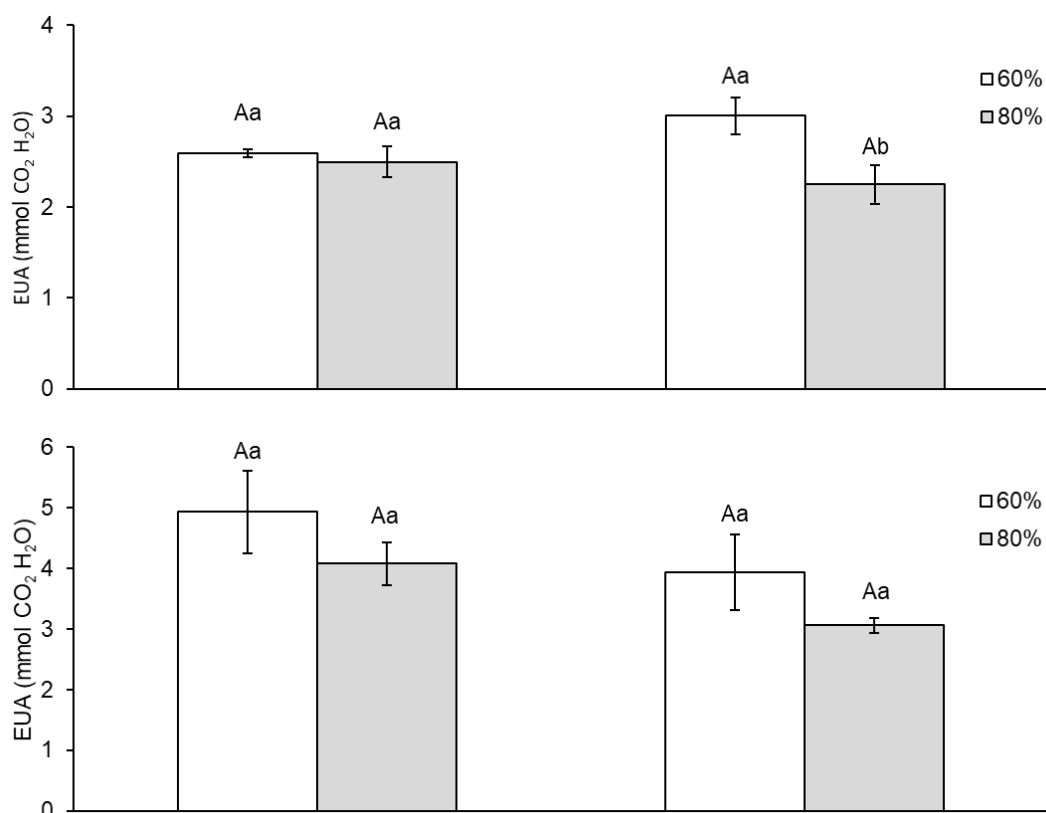
somente a variedade grecco à palla reduziu sua taxa transpiratória sob estresse moderado, enquanto para alfavaca basilicão não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas. E, ao analisarmos os resultados do terceiro dia de déficit hídrico (Figura 13C), nota-se que ao nível de 80% de água no solo, houve uma redução significativa para o grecco à palla, e ao analisar dentro das variedades, o alfavaca basilicão reduziu sua transpiração quando em estresse moderado.

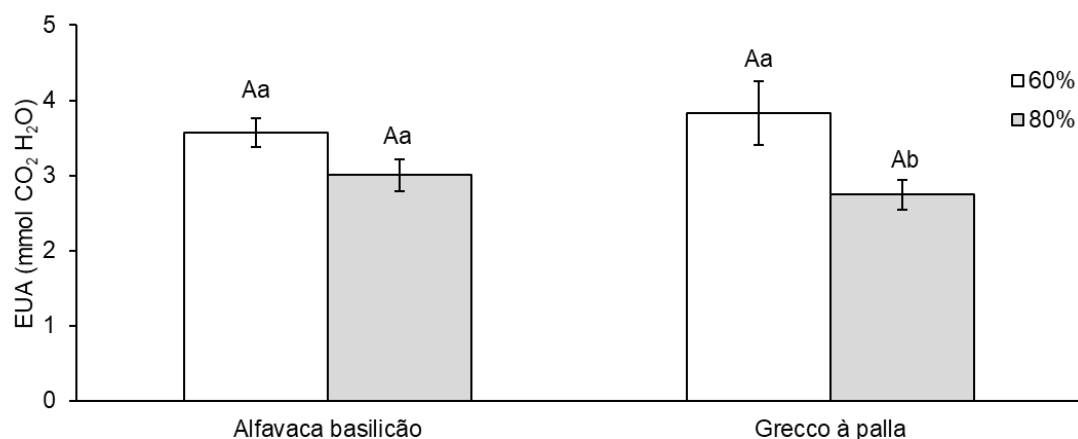


**Figura 13** – Taxa transpiratória ( $E$ ) em duas variedades de manjeriço no primeiro (A), segundo (B) e terceiro dia (C) após imposição do déficit hídrico aos 120 DAP.

\*Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

Para a eficiência do uso da água (Figura 14), não houve interação significativa entre os fatores. O grecco à palla apresentou comportamento semelhante no primeiro (Figura 14A) e terceiro dia (Figura 14C) após a imposição do déficit hídrico, sendo que reduziu sua eficiência ao nível de 80% de água no solo. No segundo dia (Figura 14B) não foram constatadas diferenças significativas, e o alfavaca basilicão demonstrou a mesma eficiência do uso da água independente das condições adversas.





**Figura 14** – Eficiência do uso da água (EUA) em duas variedades de manjeriço no primeiro (A), segundo (B) e terceiro dia (C) após imposição do déficit hídrico aos 120 DAP. \*Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste SNK a 5%. Letras maiúsculas comparam as médias dentro dos níveis de água, e letras minúsculas comparam as médias dentro das variedades.

## DISCUSSÃO

Pondera-se que as plantas apresentaram comportamento completamente distintos durante ambos experimentos, mas que na análise conjunta dos resultados estes experimentos ressaltam a capacidade destas plantas retomarem sua homeostase, após submetidas às condições adversas, demonstrando suas características de resiliência e adaptação ao ambiente (HOLLING, 1973; CARPENTER et al., 2001).

Na fase vegetativa, todas as variedades, fisiologicamente, apresentaram bom comportamento homeostático, pois conseguiram regular seu conteúdo de água foliar (Figura 1), sendo que, o material Gennaro de menta reduziu somente em 8,1% sob estresse, e ainda assim conseguiu manter seu CRA estável. A manutenção da homeostase está diretamente correlacionada à estabilidade fisiológica das plantas frente às condições adversas (SOUZA e BUCKERIDGE, 2004; CAMARGO-BORTOLIN et al., 2008), sendo essencial para a sobrevivência das mesmas.

Quanto ao teor de proteínas totais solúveis (PTS), as variedades obtiveram comportamento semelhante ao CRA, observado nesta pesquisa, onde somente o gennaro de menta reduziu sua quantidade ao nível de 80% de água (Figura 2). De acordo com Kerbauy (2004), as plantas tendem a aumentar o teor de PTS quando se

encontram em condições de estresse, no intuito de manter o nível de água na folha e induzir o ajustamento osmótico da célula. Considerando os resultados encontrados, é possível inferir que estas variedades regularam seu metabolismo de maneira adequada para suportar a condição de estresse moderado (60% de nível de água).

Já avaliando o metabolismo antioxidante enzimático (Figura 3), observamos que a variedade grecco à palla mostrou-se sensível sob o nível de 80% de água no solo, já que, o aumento da atividade da enzima APX, diretamente reflete o incremento do peróxido de hidrogênio, o substrato de indução da reação enzimática (SHIGEOKA et al., 2002; CAVALCANTI et al., 2007). Os resultados para a atividade da enzima CAT (Figura 4) indicam que o alfavaca basilicão, quando comparado às outras variedades, apresentou maior produção de espécies reativas de oxigênio quando em condições de estresse moderado, enquanto a variedade Grecco à palla demonstrou maior atividade enzimática da CAT em condições sem estresse, o que corrobora os resultados da atual pesquisa para a atividade da enzima APX. Segundo Greggains et al. (2000), estas enzimas constituem uma importante defesa primária contra os radicais livres gerados em condições de estresse, sendo capazes de degradar o  $H_2O_2$  e resultar em água ( $H_2O$ ) e oxigênio molecular ( $O_2$ ).

Quando expostas ao nível de 80% de água, ocorreu a redução no teor de clorofila *a* (Figura 5A) para as variedades Gennaro de menta e Grecco à palla, e o teor de clorofila *b* (Figura 5B) para o gennaro de menta, sendo um indicativo de que as variedades não conseguiram manter a integridade do seu aparelho fotossintético. O teor de clorofila total (Figura 5C) obteve um incremento sob estresse moderado para o grecco à palla, enquanto as outras variedades demonstraram menor teor ao nível de 80% de água no solo. Segundo Taiz e Zeiger (2013), estresses ambientais podem inibir a síntese do ácido 5-aminolevulínico, o qual é molécula precursora da clorofila ou, ainda, incrementar na atividade da enzima clorofilase que degrada clorofila.

A variedade Grecco à palla apresentou maior teor de carotenóides (Figura 5D) quando exposto ao estresse moderado. Em situações de estresse hídrico, as plantas tendem a reduzir seus teores de pigmentos fotossintéticos, em função dos danos oxidativos, e se proteger sintetizando antioxidantes como os carotenóides (EGERT e TEVINI, 2002), os quais são pigmentos que, durante a fotossíntese, podem ter função de absorção de luz nos complexos de captação de luz ou exercendo ação fotoprotetora do aparato fotoquímico (KERBAUY, 2004).

Para os óleos essenciais (Figura 6) observa-se a existência de um gradiente independente, caracterizado por um agrupamento positivo entre tau.-caudinol e fitol, enquanto nerolidol possui um comportamento negativo em relação ao componente 1. Já o linalol, componente mais encontrado em plantas de manjeriço (RADÜNZ, 2004; CARVALHO FILHO et al., 2006), mostrou-se antagônico ao fitol, para o componente 2. Estes resultados se devem a distinta disponibilidade de água ao cultivo, e o metabolismo diversificado existente entre as variedades de manjeriço, condizendo com os resultados observados neste experimento.

Nota-se que, no mesmo quadrante, o linalol e o eugenol são identificados como os óleos mais expressivos para as variedades Alfavaca basilicão sob estresse moderado e o Grecco à palla sem estresse. O comportamento de plantas medicinais, em termos de produção de compostos, tais como alcaloides, flavonóides e óleos essenciais, é diretamente influenciado pelo déficit hídrico (BORTOLO et al., 2009), no entanto, o nível e a duração do estresse são cruciais nas respostas dessas plantas, em termos de qualidade e quantidade (ALVARENGA et al., 2011).

Já na fase de florescimento, a variedade Grecco à palla sofreu reduções significativas no seu conteúdo de água foliar (Figura 7) quando exposta ao estresse moderado, diferindo da fase vegetativa, indicando que as variedades não foram capazes de manter a homeostase nessas condições. Tal fato é uma evidência de que, nessa fase, essas variedades possuem a estratégia de escape ao estresse hídrico através de alterações morfofisiológicas (GALLE et al., 2011; KLOEKE et al., 2012), como a queda de folhas e abortamento de flores, ao invés da estratégia de tolerância. Ainda de acordo com Kramer e Boyer (1995), a severidade e duração do estresse hídrico, o genótipo e o estágio de desenvolvimento das plantas influenciam diretamente nas respostas fisiológicas destas. Segundo Santos e Carlesso (1998), quando as plantas são submetidas à déficit hídrico no início do seu ciclo, mais facilmente conseguem se adaptar às condições impostas.

Os resultados indicam que a falta de água reduz o status hídrico celular, porém o material Gennaro de menta demonstrou aptidão fisiológica para suportar o déficit hídrico, essas reduções do CRA do manjeriço em função do estresse hídrico também foram relatada por Radácsi et al. (2010), que estudando diferentes níveis de capacidade de campo (70, 50 e 30%), constataram que a condição de maior estresse hídrico resultou em diminuição de 20% no conteúdo relativo de água, comparado às

plantas do tratamento controle (que receberam água correspondente a 70% da capacidade de campo do solo).

Os resultados obtidos na determinação do extravasamento de eletrólitos (Figura 8) demonstraram que ele foi maior em todas as variedades quando submetidos a condição mais seca (60% do nível de água), corroborando com os resultados obtidos por Khordi, Saidi e Ghanbari (2013), que concluíram que a diminuição da umidade do solo de 100 para 30% resultou em aumento de 22% no vazamento de eletrólitos em plantas de manjeriço. De acordo com Mahajan e Tuteja (2005), o aumento no vazamento de eletrólitos é um dos efeitos do estresse hídrico, que indica a desidratação do protoplasma e pode resultar em desordens no metabolismo celular.

A redução nos teores dos pigmentos fotossintetizantes (Figura 9) para o genótipo de menta em condições de estresse moderado é um indicativo de que o genótipo entrou em estado de estresse hídrico (ASHRAF e HARRIS, 2013), onde essa redução ocorre em função dos danos oxidativos (EGERT e TEVINI, 2002). Resultados semelhantes foram encontrados por Khordi, Saidi e Ghanbari (2013) ao trabalhar somente com uma variedade de manjeriço sob déficit hídrico. Ainda segundo esses mesmos autores, a redução de clorofila em resposta à estresses ambientais depende do genótipo da planta, e isso pode ter influenciado os resultados do presente trabalho, já que foram utilizadas três variedades de manjeriço.

Quando, em condições de estresse, ocorre redução nos teores de clorofila, podendo ter impacto na produção por reduzir a eficiência fotossintética, que é diretamente relacionada com a quantidade de clorofila nas folhas (CASTRO et al., 2009). A seca pode promover redução no conteúdo de clorofila em espécies não tolerantes (CORRÊA et al., 1987).

O grecco à palla foi a variedade que apresentou maior acúmulo de prolina quando comparado às demais (Figura 10), sendo que é um aminoácido com função osmoprotetora quando a planta está em condições de estresse hídrico (BATES et al., 1973; SILVA et al., 2015; MOURA et al., 2016), o que pode conferir maior tolerância à variedade. O aumento significativo no teor de prolina dentro de todas as variedades em resposta ao déficit hídrico corrobora com os resultados obtidos por Khalid (2006), que observou que plantas de manjeriço (*O. basilicum* L.) tiveram um aumento significativo no teor de prolina quando submetidas à déficit hídrico. Segundo Mafakheri et al. (2011), esse acréscimo no teor de prolina quando a planta é submetida à um

estresse é explicado pelo fato de que esse aminoácido serve como fonte de energia, nitrogênio e carbono para a recuperação de tecidos.

Pirbalouti et al. (2017) também observaram comportamento parecido para essa variável, constatando que o máximo teor de prolina em duas espécies de manjeriço (*O. basilicum* e *O. ciliatum*) foi obtido quando as plantas foram submetidas a um estresse hídrico correspondente a 30% da capacidade de campo. Da mesma forma, Khordi, Saidi e Ghanbari (2013) observaram que os teores de prolina no manjeriço aumentaram significativamente quando as plantas foram submetidas a umidades do solo equivalentes a 60 e 30% da capacidade de campo. Esses autores relatam que a prolina é um aminoácido de ampla ocorrência em vegetais superiores, e seu acúmulo em grande quantidade nas plantas está relacionado à ocorrência de estresses ambientais, tais como seca e estresse salino.

Observa-se que as variedades apresentaram um aumento expressivo de prolina concomitante aos percentuais mais elevados de extravasamento de eletrólitos. O extravasamento de eletrólitos, segundo Bajji et al. (2001), pode ser uma resposta em decorrência da limitação na fotossíntese, o que resulta em danos nas membranas a nível foliar, sendo um dos primeiros sinais do estresse.

Como mecanismo de defesa (ASHRAF e FOOLAD, 2007), ocorre um aumento na concentração de prolina, a qual vai atuar como agente osmorregulador. Resultados encontrados por Costa (2009), trabalhando com plantas de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl) sob déficit hídrico, corroboram com os resultados encontrados no atual trabalho.

Os resultados obtidos para as trocas gasosas nos permitem afirmar que, para a fotossíntese, dois dias de déficit hídrico não proporciona condição de estresse hídrico para as variedades estudadas, enquanto 3 dias ocasionou a redução da assimilação de CO<sub>2</sub>, da condutância estomática e da transpiração foliar para o genótipo alfavaca basilicão.

A redução na assimilação líquida de CO<sub>2</sub> após 3 dias de restrição hídrica (Figura 11) constitui em uma resposta fisiológica à deficiência hídrica, concomitante à redução da taxa fotossintética tem-se a redução dos drenos em acumular fotoassimilados (BUENO et al., 2007).

A redução na condutância estomática (Figura 12) após três dias de déficit hídrico para o Alfavaca basilicão é uma resposta onde a planta limita a condutância dos gases nas folhas afim de preservar reduzir sua perda de água, assim,

consequentemente, limitando sua fotossíntese (MUTAVA et al., 2011). Resultados semelhantes foram obtidos por Acioly et al. (2017), onde constataram menor condutância estomática em plantas de manjeriço expostas ao déficit hídrico.

Para Flexas et al. (2004), uma condutância estomática acima de  $0,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  representa uma situação de boa disponibilidade hídrica e valores abaixo de  $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  indicam condições de déficit severo, enquanto valores entre os dois extremos demonstram situação de estresse moderado. Tal afirmação reforça nossos resultados, onde o Alfavaca basilicão obteve valores abaixo de  $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no terceiro dia após a imposição do déficit hídrico, caracterizando assim uma situação de déficit severo.

A condutância estomática tem ação direta sobre a fotossíntese, as mudanças que ocorrem na resistência estomática regulam a perda de água pela planta e controla a taxa de absorção de  $\text{CO}_2$  durante a fotossíntese (TAIZ et al., 2017).

Para a transpiração foliar (Figura 13), percebe-se que à medida que a água do solo se torna escassa, as variedades começam a reduzir sua taxa transpiratória, no intuito de reduzir a perda de água e economizar a água disponível no solo, concomitante ao fechamento dos estômatos (TAIZ e ZEIGER, 2013; SILVA et al., 2015; NUNES JÚNIOR et al., 2017).

Quanto a eficiência do uso da água (Figura 14), sob estresse moderado, não houve variação proporcional à condutância estomática para as variedades, o que indica que o déficit hídrico pode resultar em melhor eficiência fotossintética. Segundo Taiz et al. (2017), a produtividade depende da quantidade de água disponível, e, sobretudo da eficiência no seu uso pela planta. Segundo François (2012), esse parâmetro é de suma importância pois permite avaliar o balanço hídrico e o uso de água pelas plantas.

Percebe-se que o Alfavaca basilicão apresentou o padrão esperado para as trocas gasosas, já que, quando em situação de estresse hídrico a planta reduz sua condutância estomática, transpiração e, consequentemente, a fotossíntese. Em contrapartida, o Grecco à palla demonstrou respostas inconclusivas.

## CONCLUSÕES

As variedades de manjeriço apresentam respostas fisiológicas e metabólicas distintas, quando submetidas ao déficit hídrico, comportamento também contatado

nos distintos estádios fenológicos, tendo a fase vegetativa como àquela com maior tolerância ao déficit hídrico.

A variedade Alfavaca basilicão apresentou crescimento e desenvolvimento compatível com a disponibilidade hídrica adequada, sendo prejudicado pela deficiência desta.

A variedade grecco à palla demonstrou maior tolerância ao déficit hídrico na fase reprodutiva comparada com as demais variedades, por conseguir preservar sua capacidade fotossintética, além de apresentar melhor eficiência no uso da água. O genótipo Gennaro de menta apresentou maior sensibilidade quando exposto a condições de boa disponibilidade hídrica.

Representativamente entre os cinco constituintes metabólicos produzidos pelas plantas os mais expressivos foram observados para linalol e eugenol, com pouca participação do nerolidol durante as condições deste experimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY TMS, BATISTA RCM, CARVALHO JSB, 2017. Respostas fisiológicas e produtivas de *Ocimum basilicum* L. em função do déficit hídrico. *In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER – PDVAgro)*, 13p. DOI:10.31692/2526-7701.iicointerpdivagro.2017.00124

AFKARI A, 2018. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer rate on some physiological characteristics, essential oil percentage, and yield of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, Theran, 33 (6), 1047-1059. Disponível em [http://ijmapr.areeo.ac.ir/article\\_115652\\_f00234a134d7a222ffe259ff426f4ac.pdf](http://ijmapr.areeo.ac.ir/article_115652_f00234a134d7a222ffe259ff426f4ac.pdf). Acesso em 03 de setembro de 2019.

ALVARENGA ICA, QUEIROZ GA, HONÓRIO ICG, VALADARES RV, MARTINS ER, 2011. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 13, no.spe.

ASHRAF M, FOOLAD MR, 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59 (2), 206-216.

ASHRAF M, HARRIS PJC, 2013. Photosynthesis under stressfull enviroments: Na overview. *Photosynthetica*, Praga, 51 (2), 163-190.

BAJJI M, KINET JM, LUTTS S, 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36, 1-10.

BATES LS, WALDREN RP, TEARE ID, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, 39, 205-207.

BIANCHI L, GERMINO GH, SILVA MA, 2016. Adaptação das plantas ao deficit hídrico. **Acta Iguazu**, Cascavel, 5 (4), p. 24.

BLUM A, EBERCON A, 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. **Crop Science**, 21, 43-47.

BRADFORD MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72, 248, 1976.

BORTOLO DPG, MARQUES PAA, PACHECO AC, 2009. Teor e rendimento de flavonoides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, 11, 435-441.

BUENO ACR, PRUDENTE DA, MACHADO EC, RIBEIRO RV, 2011. Daily temperature amplitude affects the vegetative growth and carbon metabolism of orange trees in a rootstock dependent manner. **Journal of Plant Growth Regulation**, 31(3), 309-319. (doi: 10.1007/s00344-011-9240-x).

CAMARGO-BORTOLIN LHG, PRADO CHBA, SOUZA GM, NOVAES P, 2008. Autonomy and network modulation of photosynthesis and water relations of *Coffea arabica* in the field. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 20 (2), 141-151. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000200006>

CARPENTER S, WALKER B, ANDERIES JM, ABEL N, 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what. **Ecosystems**, New York, 4, 765-781.

CARVALHO AMX, MENDES FQ, 2017. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spread sheet program for classical experimental statistics. In: **Anais da 62ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**; 24-28 de julho de 2017; Lavras – MG, Brasil. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 333p.

CARVALHO FILHO JLS, BLANK AF, ALVES PB, EHLERT PAD, MELO AS, CAVALCANTI SCH, ARRIGONI-BLANK MF, SILVAMANN R, 2006. Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 16, 24-30.

CASTRO EM, PEREIRA FJ, PAIVA R, 2009. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 234 p.

CAVALCANTI FR, LIMA JPMS, FERREIRA-SILVA SL, VIÉGAS RA, SILVEIRA JAG, 2007. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. **Journal of Plant Physiology**, 164, 591-600.

CORRÊA AFF, RANZANI G, FERREIRA LGR, 1987. Relações entre o déficit hídrico e alguns processos fisiológicos e bioquímicos em quatro clones de seringueira. **Acta Amazônica**, Manaus, 16/17 (1), 3-12.

COSTA MA, 2009. **Ocorrência de danos celulares e capacidade de defesa antioxidante em mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) sob duas condições de déficit hídrico e após reidratação.** Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 36p.

DOU H, NIU G, GU M, 2019. Pre-Harvest UV-B radiation and photosynthetic photon flux density interactively affect plant photosynthesis, growth, and secondary metabolites accumulation in basil (*Ocimum basilicum*) plants. **Agronomy**, Basileia, 9 (8), 434-453. Disponível em <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/8/434/htm>. Acesso em 01 de setembro de 2019.

DOU H, NIU G, GU M, MASABNI JG, 2018. Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality. **HortScience**, Virginia, 53 (4), 496-503. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/324725658\\_Responses\\_of\\_Sweet\\_Basil\\_to\\_Different\\_Daily\\_Light\\_Integrals\\_in\\_Photosynthesis\\_Morphology\\_Yield\\_and\\_Nutritional\\_Quality](https://www.researchgate.net/publication/324725658_Responses_of_Sweet_Basil_to_Different_Daily_Light_Integrals_in_Photosynthesis_Morphology_Yield_and_Nutritional_Quality). Acesso em 01 de setembro de 2019.

EGERT M, TEVINI M, 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). **Environmental and Experimental Botany**, Holanda, 48, 43-49.

ENKHBILEG E, FENYVESI A, BIRÓ B, FÁRI MG, KURUCZ E, 2019. Mutation induction in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by fast neutron irradiation. **International Journal of Horticultural Science**, Debrecen, 15 (2), 30-38, 2019. Disponível em <https://ojs.lib.unideb.hu/IJHS/article/view/2912/2914>. Acesso em 02 de setembro de 2019.

FERNANDES B, SYKES DJ, 1968. Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. **Revista Ceres**, 15, 1-39.

FLEXAS J, BOTA J, LORETO F, CORNIC G, SHARKEY TD, 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C<sub>3</sub> plants. **Plant Biology**, USA, 6 (3), 269-279. Doi: 10.1055/s-2004-820867

FRANÇOIS T, 2012. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficiatária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 113p.

GALLE A, FLOREZ-SARASA I, AOUOUDAD HE, FLEXAS J, 2011. The Mediterranean evergreen *Quercus ilex* and the semi-deciduous *Cistus albidus* differ in their leaf gas exchange regulation and acclimation to repeated drought and re-watering cycles. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, 62 (14), 5207-5216.

GHOLZ HL, EWEL KC, TESKEY RO, 1990. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, 30, 1-18.

GONÇALVES KS, ALVES LS, PAZ VPS, BANDEIRA SS, 2019. Chlorophyll fluorescence of basil plants cultivated in a hydroponic system using treated domestic

wastewater. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 39 (3), 288-293. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162019000300288&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162019000300288&script=sci_arttext). Acesso em 03 de setembro de 2019.

GREGGAINS V, FINCH-SAVAGE WE, QUICK WP, ATHERTON NM, 2000. Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. **New Phytologist**, 148, 267-276. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.2000.00757.x/abstract>

HAMMER O, HARPER DA, RYAN DD, 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, 4, 5–7. doi: 10.1016/j.bcp.2008.05.025.

HAVIR EA, McHALE NA, 1987. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, Washington, 67 (3), 450-455. Disponível em <http://www.plantphysiol.org/content/84/2/450.short> (Acessado em 13.11.2019).

HOLLING CS, 1973. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Reviews Ecology Systematics**, Palo Alto, 4, 1-23.

JANUŠKAITIENĖ I, DIKŠAITYTĖ A, KACIENĖ G, 2019. The effect of salicylic acid on photosynthetic resistance of *Ocimum basilicum* and *Thymus vulgaris* to drought stress under elevated climate conditions. In: 3<sup>o</sup> International Conference „Smart Bio“. **Anais**. Kaunas: Vytautas Magnus University. Disponível em <http://icsb.vdu.lt/wp-content/uploads/2019/05/ABSTRACT-BOOK-ICSB-2019-ISSN.pdf>. Acesso em 03 de setembro de 2019.

KERBAUY GB, 2004. **Fisiologia Vegetal**. Guanabara Koogan, São Paulo, 439p.

KHALID KA, 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* spp.). **International Agrophysics**, 20, 289-296.

KHORDI S, SAIDI M, GHANBARI F, 2013. Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid. **International Journal of Agricultural and Food Research**, 2 (2), 18-26.

KLAR AE, VILLA NOVA NA, MARCOS ZZ, CERVellini A, 1966. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. In: **Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz**, Piracicaba. Anais... Piracicaba, 23, 15-30. <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761966000100003>.

KLOEKE AEE, DOUMA JC, ORDOÑEZ JC, REICH PB, BODEGOM PM, 2012. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, 21 (2), 224-235. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00667.x>

KRAMER PJ, BOYER JS, 1995. Water relations of plants and soils. **Academic Press**, Orlando, FL. <http://udspace.udel.edu/handle/19716/2830>

MACEDO WR, KITAHARA DK, CASTRO PRC, 2013. Unravelling the physiologic and 256 metabolic action of thiamethoxam on rice plants. **Pestic Biochem Phys**, 244-249.

MAFAKHERI A, SIOSEMARDEH A, BAHRAMNEJAD A, STRUIK PC, SOHRABI Y, 2011. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. **Crop Science**, 5 (10), 1255-1260.

MAHAJAN S, TUTEJA N, 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 444, 139-158.

MARIN A, 2003. **Influência associada do estresse hídrico e do alumínio na germinação e crescimento inicial do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)**. Dissertação de Mestrado. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 87p.

MIRFAZELI MS, AKBARI GA, RAMSHINI H, 2019. Evaluation of seedling emergence of basil (*Ocimum basilicum* L.) accessions under salinity and drought stresses. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, Birjand, 12 (3), 567-578. Disponível em [http://escs.birjand.ac.ir/article\\_1038\\_1df6d1953ce493ef40a4aa626c5e684a.pdf](http://escs.birjand.ac.ir/article_1038_1df6d1953ce493ef40a4aa626c5e684a.pdf). (Acessado em 01.09.2019).

MOTA IA, 2018. **Variation of yield and composition of essential oils from Mint and Basil in response to mycorrhizae bio-elicitor and hydric stress**. Dissertação (Mestrado em Farmácia e Química de Produtos Naturais). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 163p. Disponível em <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/18292/1/pauta-relatorio-1.pdf>. (Acessado em 04.09.2019).

MOURA AR, NOGUEIRA RJMC, SILVA JAA, LIMA TV, 2016. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 26 (2), 345-354.

MUTAVA RN, PRASAD PVV, TUINSTRA MR, KOFOID KD, YU J, 2011. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, Amsterdam, 123, 10-18.

NAKANO Y, ASADA K, 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, Oxford, 22 (5), 867-880.

NUNES JUNIOR FH, GONDIM FA, FREITAS VSF, BRAGA BB, BRITO POB, MARTINS K, 2017. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Ambiente & Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science**, 12 (1), 71-86.

PIRBALOUTI AG, MALEKPOOR F, SALIMI A, GOLPARVAR A, 2017. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. **Scientia Horticulturae**, 217, 114-122.

RADÁCSI R, INOTAI K, SÁROZI S, BERNÁTH J, NÉMETH E, 2010. Effect of water supply on the physiological characteristic and production of Basil (*Ocimum basilicum* L.). **European Journal of Horticultural Science**, 75 (5), 193-197.

RADÜNZ LL, 2004. **Efeito da temperatura do ar de secagem no teor e na composição dos óleos essenciais de guaco (*Mikania glomerata* S.) e hortelã comum (*Mentha x villosa* Huds.)**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 90p.

SANTOS RF, CARLESSO R, 1998. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2, 287-294.

SHIGEOKA S, ISHIKAWA T, TAMOI M, MIYAGAWA Y, TAKEDA T, YABUTA Y, YOSHIMURA K, 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of Experimental Botany**, 53, 1305-1319.

SILVEIRA JAG, MELO ARB, VIÉGAS RA, OLIVEIRA JTA, 2001. Salt-induced effects on the nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**, 46, 171-179.

SOUZA GM, BUCKERIDGE MS, 2004. Sistemas complexos: novas formas de ver a botânica. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, 27 (3), 407-419.

TAIZ L, ZEIGER E, 2013. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 954p.

TAIZ L, ZEIGER E, MOLLER IM, MURPHY A, 2017. **Fisiologia do desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 918p.

WITHAM FH, BLAYDES DF, DEVLIN RM, 1971. **Experiments in plant physiology**. D. Van Nostrand, 55-58.