



**VINICIUS ERLO RIBEIRO**

**RELAÇÕES DA RADIAÇÃO E ÁCIDO SALICÍLICO EM  
*Lavandula dentata* NO DESENVOLVIMENTO E PRODU-  
ÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL**

**LAVRAS - MG  
2018**

**VINICIUS ERLO RIBEIRO**

**RELAÇÕES DA RADIAÇÃO E ÁCIDO SALICÍLICO EM *Lavandula dentata* NO  
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Dr. Amauri Alves de Alvarenga

**LAVRAS - MG  
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ribeiro, Vinicius Erlo.

Relações da qualidade da radiação e do ácido salicílico em *Lavandula dentata* no desenvolvimento e produção de óleo essencial : - / Vinicius Erlo Ribeiro. - 2018.

56 p.

Orientador(a): Amauri Alves de Alvarenga.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Ácido Salicílico. 2. Elicitor. 3. Lavanda. I. de Alvarenga, Amauri Alves. II. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

**VINICIUS ERLO RIBEIRO**

**RELAÇÕES DA RADIAÇÃO E ÁCIDO SALICÍLICO EM *Lavandula dentata* NO  
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL  
RELATIONSHIPS OF RADIATION AND SALICYLIC ACID IN *Lavandula den-  
tata* ON DEVELOPMENT AND ESSENTIAL OIL PRODUCTION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de dezembro de 2018  
Dra. Elisa Montese Bicalho UFLA  
Dr. Eduardo Gusmão Pereira UFV  
Dr. Diego Pedrosa Corrêa da Silva UFLA

Orientador  
Dr. Amauri Alves de Alvarenga

**LAVRAS - MG  
2018**

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho e minhas escolhas, pela oportunidade de manifestar seu dom energético de uma forma produtiva para a humanidade, por proporcionar todas as realizações feitas até agora e pelas pessoas especiais que cruzaram e irão cruzar meu caminho.

Agradeço a meus pais, Valter Ribeiro e Ida Erlo Ribeiro, pela compreensão, auxílio e suporte, e meu irmão por sempre acreditarem em mim. Por serem base de minha vida e por todos os ensinamentos dados até hoje que tanto me auxiliaram na construção moral e ética e a ser quem sou.

Agradeço ao Professor Amauri Alves de Alvarenga, pela oportunidade de ser o seu último orientado de mestrado. Pelos seus ensinamentos, suas conversas de apoio, e, principalmente pela amizade criada que pretendo levar para o resto da vida.

Agradeço à Professora Patrícia Duarte de Oliveira Paiva, por todo o auxílio dado na implementação de meu experimento no setor de Paisagismo e Floricultura da UFLA e pelo apoio na escolha da espécie em questão.

Agradeço aos amigos de laboratório, Raphael, Roniel, Lorena, Joyce, por serem grandes amigos e estarem sempre dispostos a ajudar. Em especial agradeço aos mais presentes Mário e Cássio por toda amizade e suporte ao longo deste tempo. Principalmente pelas conversas e risadas.

Agradeço a todos do Departamento de Fisiologia Vegetal, que de certa forma auxiliaram na conquista desse mestrado. Foram tempos que passaram muito rápido, porém com um alto nível de crescimento pessoal e aprendizagem.

Agradeço a todos os Professores da Fisiologia pelos ensinamentos e oportunidade de crescimento. Em especial, ao Professor Luiz Edson Mota de Oliveira pela paciência em ensinar e, principalmente, em ouvir e por todos seus ensinamentos.

Agradeço aos técnicos e funcionários da UFLA em especial, Antônio do paisagismo, Salete, Joel, Odorêncio e Tanham, não somente pela ajuda em diversas situações, mas também pela amizade.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade e apoio concedidos que foram essenciais para a realização de meu mestrado. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

## RESUMO

As plantas do gênero *Lavandula* são bastante conhecidas pelo seu rico óleo essencial em compostos voláteis com propriedades fitoterápicas e aromáticas, são utilizadas como essência para a fabricação de perfumes e na medicina popular para o alívio de sintomas de doenças do trato respiratório. No Brasil, a espécie mais adaptada ao clima é a *Lavandula dentata* L. e, em alguns locais do Sul e Sudeste, ocorreu um aumento de seu cultivo devido ao ganho com sua produção, principalmente na venda de derivados de sua essência e atração turística. Atualmente, o uso de substâncias que promovem uma modificação positiva no crescimento e produtividade das plantas têm sido estudados. Os elicitores são compostos que atuam causando uma simulação de ataque na planta, conferindo um aumento da atividade do metabolismo secundário, o que resulta numa maior quantidade do teor de óleo essencial. Além disso, os elicitores agem aumentando a defesa da planta contra patógenos e auxiliam as plantas na superação de estresses abióticos. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo investigar os efeitos fisiológicos causados pelas diferentes qualidades de luz nas malhas vermelha, azul e preta em comparação com o pleno sol e a interação com a aplicação de ácido salicílico no crescimento e desenvolvimento da planta, bem como na produção e composição química do óleo essencial. As plantas foram cultivadas em quatro condições de radiação (pleno sol, malhas preta, azul e vermelha) e duas condições de elicitação, com aspersão de água (controle) e com solução de 1mM de ácido salicílico. Durante o experimento, foram realizadas medições quinzenais da altura total das plantas para obter gráficos de crescimento e verificar a interação da radiação em seu desenvolvimento. Foram feitas duas aplicações do elicitor com intervalo de 15 dias e, durante esse período foram feitas coletas com 24 e 48 horas após cada aplicação para as atividades enzimáticas. Ao final do experimento, foram coletadas plantas para a extração do óleo essencial e análise de massa seca. A elicitação promoveu um aumento no teor de óleo essencial de *Lavandula dentata* em todos os tratamentos de radiação, sendo mais efetivo em plantas que estavam cultivadas nas malhas coloridas. Em sua composição química ocorreram aumentos na quantidade de 1,8-cineol e linalol quando sob efeito do ácido salicílico. Ocorreram diferenças significativas nas alturas e massas secas das plantas cultivadas nas malhas coloridas, principalmente quando comparamos com as de pleno sol. Foi observado aumento da atividade das enzimas antioxidantes catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase quando sob efeito de elicitação, o que justifica o efeito do ácido salicílico como um agente sinalizador de estresse e promotor da defesa da planta.

**Palavras-chave:** Lavanda, ácido salicílico, óleo essencial, malhas coloridas, metabolismo secundário.

## ABSTRACT

*Lavandula* plants are known for their rich essential oil in volatile compounds with phytotherapeutic and aromatic properties, are used as essence for the manufacture of perfumes and in folk medicine for the relief of respiratory tract disease symptoms. In Brazil, the most adapted species to the climate is *Lavandula dentata* L. In some places in the South and Southeast, there was an increase in its cultivation due to the gain in its production, mainly in the sale of its essence and tourism attraction. Currently, the use of substances that promote a positive modification in plant growth and productivity have been studied. The elicitors are compounds that act by causing a simulation of attack in the plant, conferring an increase in the activity of the secondary metabolism, which results in a greater amount of the essential oil content. In addition, elicitors act by increasing plant defense against pathogens and assist plants in overcoming abiotic stresses. Therefore, the present work had as objective to investigate the physiological effects caused by the different light qualities in the red, blue and black meshes in comparison to the full sun and the interaction with the application of salicylic acid in the growth and development of the plant, as well as in the production and chemical composition of the essential oil. The plants were cultivated in four conditions of radiation (full sun, black, blue and red meshes) and two conditions of elicitation, with water spray (control) and with 1mM solution of salicylic acid. During the experiment, biweekly measurements of total plant height were taken to obtain growth charts and to verify the interaction of the radiation in its development. Two applications of the elicitor were carried out with a 15 day interval, during which time samples were collected with 24 and 48 hours after each application to the enzymatic activities. At the end of the experiment, plants were collected for essential oil extraction and dry mass analysis. Elicitation promoted an increase in the essential oil content of *Lavandula dentata* in all radiation treatments, being more effective in plants that were cultivated in colored meshes. In its chemical composition, there were increases in the amount of 1,8-cineol and linalool when under the effect of salicylic acid. There were significant differences in the height and dry mass of the plants grown in the colored meshes, especially when compared to the full sun. It was observed an increase in the activity of antioxidant enzymes catalase, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase when under the effect of elicitation, which justifies the effect of salicylic acid as a stressing agent and promoter of plant defense.

**Keywords:** *lavandula*, salicylic acid, essential oil, colored nets, secondary metabolism.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	9
2.1 Caracterização da espécie.....	9
2.2 <i>Lavandula dentata</i> L. e seu óleo essencial .....	10
2.3 Respostas fisiológicas à radiação solar .....	13
2.4 Metabolismo secundário e elicitação .....	14
2.6 Ácido Salicílico .....	18
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	20
3.1 Local de execução .....	20
3.2 Obtenção do material.....	21
3.3 Descrição dos tratamentos e de experimentação .....	22
3.4 Aplicação do Ácido Salicílico .....	23
3.5 Análises de crescimento .....	23
3.6 Avaliações bioquímicas.....	23
3.6.1 Análises enzimáticas.....	23
3.6.2 Superóxido Dismutase.....	24
3.6.3 Catalase .....	24
3.6.4 Ascorbato Peroxidase.....	25
3.7 Extração e análise do óleo essencial.....	25
<b>3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS</b> .....	26
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
4.1 Avaliação do crescimento .....	26
4.1.1 Influência da radiação .....	26
4.1.2 Influência do ácido salicílico.....	28
4.2 Análise do teor de óleo essencial .....	29
4.2.1 Influência da radiação .....	29
4.2.2 Influência do ácido salicílico.....	31
4.3 Composição química do óleo essencial .....	32
4.3.1 Influência da radiação .....	32
4.3.2 Influência do ácido salicílico.....	33
4.4 Análises Bioquímicas.....	34
4.4.1 Sistema antioxidante .....	34
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	44
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se um aumento crescente na demanda mundial por produtos derivados de plantas medicinais e aromáticas, seja com finalidade terapêutica, cosmética ou agrônômica. Esse evento ocorre, tanto pelo aumento da popularidade dos produtos naturais, mas também pela constante preocupação com a saúde por parte da população que, cada vez mais busca por fontes relativamente seguras e saudáveis.

As plantas aromáticas possuem diversas propriedades que, na maioria das vezes, substitui produtos químicos na alimentação, como aromas e essências naturais. Sua produtividade vêm sendo intensificada pelo aumento de seus usos. No Brasil existe uma grande riqueza em plantas medicinais, entre essas, algumas pertencem à família Lamiaceae, que são principalmente conhecidas pelo seu aroma. Além disso, a produção de plantas aromáticas no Brasil é adequada às regiões com a economia baseada em minifúndios, pois além de gerar uma fonte de renda extra com a produção de óleo essencial, também pode ser utilizada como atração agroturística diversificando sua produção.

Espécies aromáticas do gênero *Lavandula* são populares em todo mundo e são amplamente utilizadas na extração do óleo essencial. Esse produto, fruto do metabolismo secundário possui diversas funções fisiológicas importantes para a planta e é peça chave na interação com o meio em que vive. Algumas espécies de lavanda produzem óleos essenciais com larga utilização na indústria farmacêutica e alimentícia, também utilizada como repelente de insetos e no tratamento de algumas doenças do trato respiratório e gastrointestinal, já outras espécies são utilizadas como plantas ornamentais e decorativas (KIM et al., 2002; DUDAREVA et al., 2006).

Portanto, sabendo dos benefícios que os óleos essenciais de *Lavandula* proporcionam, estudos estão tentando compreender o mecanismo produtivo e os agentes que interagem nesse mecanismo, como por exemplo, existem substâncias que, normalmente atuam como hormônios reguladores de crescimento, mas estão sendo utilizadas em pequenas quantidades e atuam como elicitores, os quais induzem uma maior atividade do metabolismo secundário, que é responsável pela produção de compostos de defesa incluindo os óleos essenciais. Estes compostos, denominados como elicitores ou eliciadores, atuam como sinalizadores em baixa concentração gerando diversas mudanças metabólicas e fisiológicas que, uma de suas características, é o aumento na produção de óleo essencial, isso ocorre com o uso de ácido salicílico (AS) atuando como elicitador em diversas espécies (KHALIL et al., 2018; GHASSEMI et al., 2017; NASIRI et al., 2018).

Em respeito à sua atividade de elicitor, o AS atua no crescimento e desenvolvimento da planta e como mensageiro secundário ativando de genes de defesa sob condições de estresse biótico e abiótico. Vários estudos têm demonstrado que a aplicação exógena de AS pode aumentar crescimento e desenvolvimento de plantas, atuando em seus sistemas de sinalização e induzindo enzimas antioxidantes que atuam como sinalizadoras para a formação de compostos de defesa, tanto em plantas medicinais e em espécies alimentares funcionais (KUMAR et al., 2014; NAZAR et al., 2015; QADOS et al., 2015). AS induz a expressão de genes relacionados para a produção de algumas classes de metabólitos secundários em plantas e ativa fenilalanina amônia-liase (PAL), uma enzima chave no metabolismo secundário. Algumas pesquisas já foram feitas com interações entre algumas espécies de plantas e o AS, como por exemplo no trigo (*Triticum aestivum* L.). A aplicação foliar de AS em concentrações tão baixas como 0,001 mM resultou em melhorias no parâmetro de crescimento (HAAS et al., 2015).

Sabendo das diferentes propriedades do AS e de sua melhoria na qualidade e produtividade de óleo essencial, seria interessante conciliar essa tecnologia com outras já pré-existentes, principalmente utilizando insumos de baixo custo que não causam modificações na planta. O controle e a uniformidade da luz podem resultar em aumento do crescimento, melhor planejamento da produção e maior controle de contaminação ou ataque de insetos, pois o controle uniformiza o crescimento e a utilização de estufas gera um fácil monitoramento de pragas e doenças. No entanto, a existência de diferenças interespecíficas no microambiente pode influenciar a acumulação e distribuição de fenóis e flavonoides totais (RAHMAT et al., 2008). Flavonoides e compostos fenólicos são importantes para as plantas e influenciam na produção de outros metabólitos, além de auxiliar na diminuição de danos causados pela luz UV e proteger as plantas de espécies reativas de oxigênio. Estudos realizados com *Kalanchoe pinnata* Lam. mostraram um aumento na produção, quando expostas à luz azul (NASCIMENTO et al., 2013). Em *Zingiber officinale* Roscoe, altas irradiações causaram aumento na produção de flavonoides, enquanto as baixas irradiações aumentaram a produção de compostos fenólicos totais (GHASEMZADEH et al., 2011). Em *Piper aduncum* L., observou-se um aumento significativo na taxa de crescimento e na produção de metabólitos secundários quando expostas à luz azul (PACHECO et al., 2014).

Portanto, esse trabalho tem como objetivo avaliar interação entre a condição luminosa e o efeito do ácido salicílico na promoção e estímulo do crescimento e desenvolvimento das plantas de lavanda, bem como avaliar as modificações quantitativas e qualitativas do óleo essencial.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Caracterização da espécie

O gênero *Lavandula*, pertencente à família Lamiaceae contempla diversos gêneros e mais de 350 espécies que estão inseridas nas mais variadas regiões do Brasil (LORENZI et al., 2008). As lavandas são conhecidas por serem espécies aromáticas, medicinais produtoras de óleos voláteis e outros compostos fitoquímicos, além de possuir espécies com usos ornamental e paisagístico (MSAADA et al., 2012). São nativas das regiões do Mediterrâneo, Península Arábica, das Ilhas Canárias e Índia, o gênero *Lavandula* compreende 39 espécies identificadas até hoje, possuem também diversas variedades de híbridos denominados lavandins, e cerca de 400 cultivares registradas (GUITTON, 2012). Em sua maioria, possuem propriedades aromáticas e medicinais e são cultivadas, principalmente, em regiões de clima temperado e tropical. Entre os principais países produtores estão a França, a Bulgária, o Reino Unido e a Espanha, existe também um aumento significativo na produção em países do Saara africano, na Arábia e na Índia (HANAMANTHAGOUDA et al., 2012).

As lavandas, em sua maioria, são perenes, subarborescentes, apresentam haste lenhosa, bastante ramificadas na base e com folhas e inflorescências de aroma característico. As principais diferenças podem ser vistas em seu hábito de crescimento, alguns caracteres morfológicos que incluem o formato da folha, número e coloração das flores que varia de tons de violeta, azul, lilás e branco e ainda óleos essenciais (LIS-BALCHIN, 2002). Além disso, as espécies ainda podem apresentar diferenças significativas no conteúdo e na composição dos óleos em função de diversas condições ambientais e da região onde estão inseridas (GOBBO-NETTO et al., 2007; LAWRENCE, 1993; RAHMAT et al., 2008).

A substância mais valiosa isolada da lavanda é o óleo essencial, encontrado nas glândulas oleosas localizadas na superfície do cálice, nos sulcos entre os cabelos finos. O óleo essencial está presente em quantidades de 2% a 3%. É obtido por hidrodestilação ou destilação a vapor. É amarelo e tem um intenso aroma de lavanda floral herbal com uma delicada sugestão de fruta e madeira. (HASSIOTIS et al., 2014). São misturas complexas e contêm em torno de 20-100 constituintes químicos presentes nas diversas variedades e em diferentes concentrações. Embora cada espécie contenha seu perfil característico, existe um predomínio de monoterpenos,

seguidos por sesquiterpenos. Entre os monoterpenos encontrados com maior frequência em lavandas, estão o linalol, acetato de linalol, borneol, cânfora, e 1,8-cineol (UPSON et al., 2004; ŚMIGIELSKI et al, 2013).

De acordo com a qualidade de seus óleos voláteis, podem assumir diversas funções nos setores industriais. Óleos que possuem um elevado teor de linalol e acetato de linalina, associados com um baixo teor de cânfora são considerados de alta qualidade, e, portanto, são utilizados em produtos de perfumaria e cosméticos (ŚMIGIELSKI et al, 2013). Já os que são aplicados na medicina popular, possuem maiores teores de cânfora e 1,8-cineol, e são comumente empregados como inalantes para sintomas de doenças respiratórias (THEIS et al., 1995). Os principais efeitos terapêuticos conhecidos da lavanda são como sedativo, antioxidante, antimicrobiano, analgésico e anticonvulsivante (SUDRIÁ et al., 1999; KASHANI et al., 2011; SIENKIEWICZ et al., 2011; KOVATCHEVA et al, 2001), também como aromatizante de alimentos e bebidas (BOMBARDA et al., 2008; DA PORTO et al., 2009), na aromaterapia como relaxante muscular (BRADLEY et al., 2007; SOLTANI et al, 2013). Outros usos, na agricultura ecológica, como inseticida, herbicida, e no preenchimento de áreas com solos danificados por erosão e/ou fogo (CONTI et al. 2010; GONZÁLEZ-COLOMA et al., 2011; MENGUAL et al., 2014; BOUAYAD et al., 2013).

## **2.2 *Lavandula dentata* L. e seu óleo essencial**

A *Lavandula dentata* L. conhecida também como Alfazema ou lavanda “French” é uma espécie nativa da região do Mediterrâneo, das ilhas do Atlântico e da Península Árabe (BOWN, 2005). Atualmente, é cultivada em diversos países do Mediterrâneo, Europa, Norte da África e Índia. Possui características bastante visíveis e distintas de outras lavandas (Figura 1). São subarbustos lenhosos e perenes, bem ramificados na base, crescem em média de 30 a 70 cm de altura. As folhas são lineares, opostas, com tamanho entre 1 a 10cm no máximo, com bordos serrilhados, as folhas e caules apresentam coloração verde a verde acinzentado nas partes mais próximas ao ápice e as inflorescências possuem brácteas florais que, geralmente, são estéreis. São encontradas em racemos terminais e apresentam uma coloração em tons de violeta ou lilás com tamanhos de 5 a 10mm. Já as flores férteis, apesar de possuir a mesma forma das brácteas estéreis possuem uma coloração marrom-esverdeada a violeta (LORENZI et al., 2002; CLEMENTE et al., 2013).

Figura 1 - Fotos detalhadas de *Lavandula dentata* L. (1) Detalhes da planta inteira e (2) detalhe da inflorescência.



Fonte: Do autor

A Alfazema é uma planta altamente adaptada às diferentes condições edafoclimáticas. Quando bem adaptadas, conseguem suportar invernos rigorosos e verões quentes, crescendo naturalmente em regiões montanhosas, áridas e em terrenos rochosos (CHU et al., 2001). Em sua produção, torna-se necessário o bom trato cultural para se ter um ótimo aproveitamento de sua produtividade, no caso da lavanda é de suma importância a manutenção de um solo bem drenado e uma boa iluminação. Em sistemas de cultivo destinados à produção em escala industrial de obtenção de óleo essencial, no hemisfério norte, a colheita é realizada nos meses do verão, de julho a setembro, e, geralmente, feita quando a maior parte das plantas está em plena floração. Quanto ao manejo da poda recomenda-se retirar em torno de um terço a 50% da parte aérea da planta (BUSTAMANTE et al., 1996; ADAM et al., 2006).

No Brasil, apesar da *L. dentata* ser uma espécie exótica, apresentou em várias regiões uma boa adaptação demonstrada por uma boa produtividade, como no caso das regiões de Monte Verde (MG) e Cunha (SP) onde é cultivada, principalmente, para a produção de óleos essenciais, porém nesses locais também é explorado o lado agroturístico, com visitas técnicas e turísticas, aluguel do espaço para eventos e com a venda de produtos de fabricação própria, o que acaba gerando uma renda alternativa ao produtor.

O perfil fitoquímico do óleo essencial pode apresentar algo em torno de 100 substâncias, dentre os principais constituintes encontrados estão os monoterpenos oxigenados, sendo eles: 1,8-cineol, cânfora, fenchona, fenchol e linalol, seguido dos monoterpenos hidrocarbonados:  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno e limoneno, os sesquiterpenos oxigenados e sesquiterpenos hidrocarbonados (DOB et al., 2005). Os compostos majoritários encontrados nesta espécie de lavanda, como o 1,8-cineol e a cânfora, conferem propriedades medicinais e terapêuticas com ação antiespasmódica, antifúngica e antimicrobiana (CAVANAGH et al., 2002; IMELOUANE et al., 2009), bem como antiinflamatórias e analgésicas (HAJHASHEMI et al., 2003; PEANA et al., 2002), e ainda como repelente e inseticida (YUSUFOGLU et al., 2004).

Diversos estudos realizados mostram que o óleo essencial de *Lavandula dentata* L. apresenta elevada variabilidade na composição química e no teor dos constituintes majoritários de acordo, principalmente, com o local em que está sendo produzido e como está sendo feito o cultivo. Em Marrocos, os compostos identificados como principais constituintes foram a cânfora (50-72%), borneol (47%) e 1,8-cineol (12-32%). Enquanto que, em amostras provenientes da Espanha, foram identificados os compostos 1,8-cineol (39-67%),  $\beta$ -pineno (27-42%), por  $\alpha$ -pineno (9,6-13,2%), trans-pinocarveol (5,8-9,8%) e linalol (2-10%). Também, observou-se que em amostras oriundas de regiões da Argélia próximas à Espanha continham um perfil fitoquímico semelhante, o mesmo ocorreu com regiões próximas de Marrocos (BOUSMAHA et al., 2006). Estudos com as mesmas espécies na Tunísia, mostraram um perfil com 1,8-cineol (33,54%), cânfora (18,89%) e L-fenchone (8,36%) nos óleos obtidos das folhas e de teores com 19,85%, 23,33% e 7,13% nos óleos obtidos de inflorescências, respectivamente (TOAUTI et al., 2011).

No Brasil, foram encontrados teores um pouco diferentes quando comparamos com os dados acima, onde dos constituintes presentes no óleo essencial das folhas nos diferentes estádios de desenvolvimento são 1,8-cineol (17,9% à 22,1%), cânfora (17,2% à 22,8%), L-fenchona (12,1% à 14,3%) e  $\alpha$ -fenchol (8,3% à 14,3%). Nas inflorescências houve um resultado semelhante às folhas, onde são 1,8-cineol (21,9% à 27%), cânfora (15,1% à 20,9%), L-fenchona (11% à 12,9%) e  $\alpha$ -fenchol (5,6% à 6,4%) (MASETTO et al., 2013). Considerando que os constituintes 1,8-cineol e cânfora conferem ao óleo essencial de *L. dentata* propriedades medicinais devido à ação antifúngica e bactericida, respectivamente, o óleo essencial pode ser extraído a partir de inflorescências e folhas em conjunto (parte aérea).

### 2.3 Respostas fisiológicas à radiação solar

A radiação solar é a principal fonte de energia para a Terra, sendo um dos principais fatores responsáveis pela manutenção da vida, a radiação age diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Ao incidir sobre a superfície foliar, a radiação solar pode se comportar de três formas distintas: ser refletida, transmitida ou absorvida. Neste último caso, a luz é interceptada por uma complexa estrutura de coleta de luz formada por fotorreceptores, clorofilas e pigmentos acessórios, e transformada em energia química que será utilizada para reduzir o dióxido de carbono presente no ambiente em biomoléculas essenciais para desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013). Todavia, a radiação solar pode apresentar níveis energéticos elevados, até mesmo maiores do que alguns tipos de plantas podem suportar. Esses níveis causam danos a maquinaria fotossintética, inibem o crescimento e, conseqüentemente, provocam ajustes bioquímicos no vegetal tentando minimizar esses danos (FROHNMEYER et al., 2005).

No sentido de minimizar os danos por altos níveis de irradiação, tem-se utilizado telas ou malhas reflexivas com capacidade de minimizar sua intensidade, além de selecionar comprimentos de ondas específicos, modulando a qualidade da luz, gerando melhorias na atividade fotossintética e elevando teores de metabólitos secundários, dentre outros (PACHECO et al., 2014; CORRÊA et al., 2012; CHAGAS et al., 2013; SOUZA et al., 2014).

As malhas de sombreamento interferem na quantidade e qualidade da radiação solar transmitida, determinando modificações ópticas de dispersão de luz e refletância. O espectro da rede de malha azul mostra um pico de transmissão principal na região azul-verde (400-540 nm), enquanto a rede de malha vermelha tem maior transmitância em comprimentos de onda superiores a 590 nm (OREN-SHAMIR et al., 2001). Em experimentos utilizando malhas de sombreamento colorido, Souza et al. (2011) observaram que condições de qualidade da radiação podem mostrar diferentes respostas morfofisiológicas desejáveis e maximizar a produção de princípios ativos. Em orégano (*Origamum vulgare*), a quantidade e a qualidade da radiação solar influenciou diretamente na produção do óleo essencial e, por meio da modulação da luz foi possível aumentar certos níveis de compostos que potencializaram o seu óleo essencial (CORRÊA et al., 2012).

Em patchouli (*Pogostemon cablin*), observou-se um aumento na biomassa, em decorrência do aumento no número de folhas, brotos, área foliar e ramos, quando cultivadas sob

malha vermelha. Além disso, houve um maior rendimento de óleo essencial nas folhas de plantas que foram cultivadas em malhas de cores vermelha e azul. O óleo essencial das plantas cultivadas sob rede vermelha apresentou a maior porcentagem relativa de patchoulol (66,84%), que é o componente de maior interesse (RIBEIRO et al., 2018). Em pepino (*Cucumis sativus* L.), todas as redes aumentaram as respostas fotossintéticas: transpiração, condutância estomática e assimilação de CO<sub>2</sub>, quando em comparação com plantas cultivadas sob malha negra (sombrite) (TAFOYA et al., 2018). Em pimenta longa (*Piper hispidinervum* C. DC.), as malhas azul e vermelha influenciaram diretamente no crescimento da planta e, também, apresentaram uma melhor produção de pigmentos fotossintéticos (LIMA et al., 2017).

#### **2.4 Metabolismo secundário e eliciação**

As plantas possuem dois tipos de metabolismo: o primário e o secundário. No primário são produzidas substâncias como lipídeos, proteínas, carboidratos, aminoácidos e ácidos nucleicos, e estão diretamente relacionadas ao crescimento e desenvolvimento da planta. No metabolismo secundário são produzidos compostos orgânicos que parecem não ter função direta nos processos fundamentais do desenvolvimento vegetal, porém possuem elevada importância para a planta (SEIGLER, 2012).

O metabolismo secundário origina compostos que desempenham um papel importante na interação das plantas com o meio ambiente. Um dos principais componentes do meio externo cuja interação é mediada por compostos do metabolismo secundário são os fatores bióticos. Desse modo, os metabólitos secundários possuem um papel contra a herbívora, ataque de patógenos, competição entre plantas e atração de organismos benéficos como polinizadores, dispersores de semente e microrganismos simbioses (DUDAREVA et al., 2006).

Produtos do metabolismo secundário são caracterizados por uma enorme diversidade de fitoquímicos de baixo peso molecular, com estruturas complexas e únicas, onde cada planta tem seu próprio conjunto específico de metabólitos secundários e podem apresentar alta toxicidade. Sua concentração é considerada muito baixa (em torno de 1% do peso seco) nos tecidos vegetais podendo variar o que depende do estado fisiológico e de desenvolvimento que a planta se encontra. E sua produção também é constantemente afetada por condições bióticas e abióticas de estresse ou interação entre ambas (OKSMAN-CALDENTEY et al., 2004). O aumento da produção de metabólitos secundários torna-se viável e, atualmente estudos têm sido feitos com

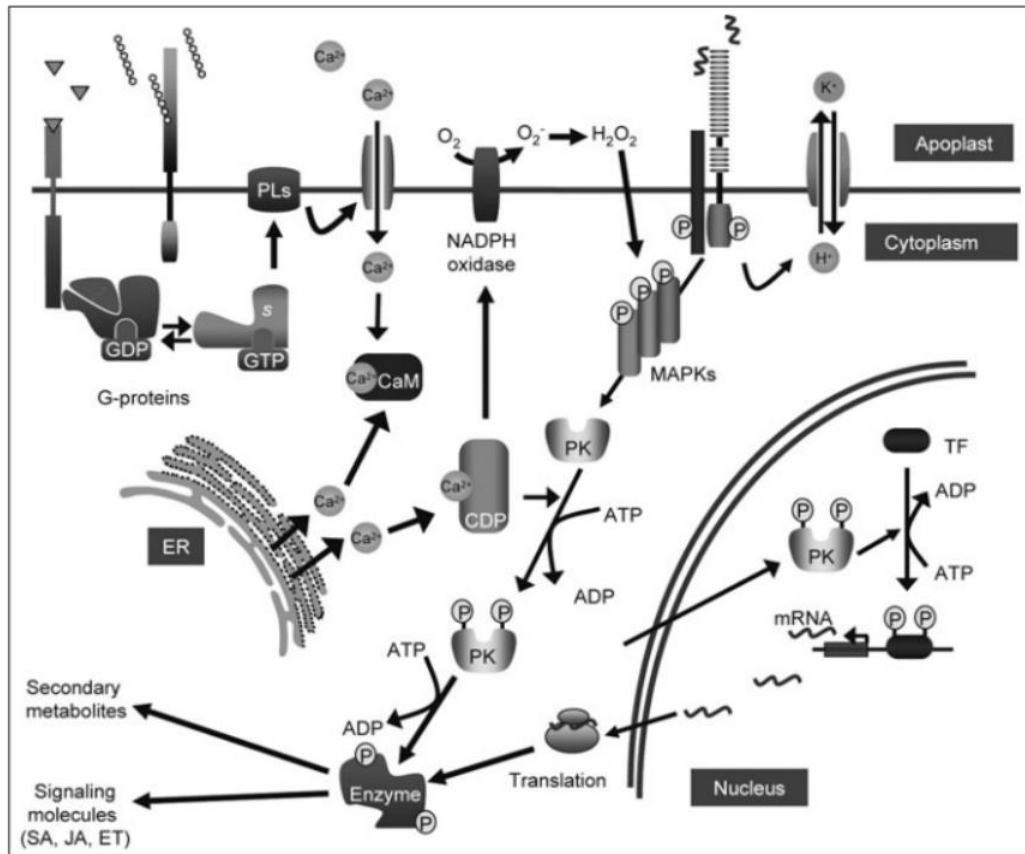


substâncias que a própria planta produz em pequenas quantidades e, geralmente são considerados fitohormônios e reguladores de crescimento, quando utilizados exógenamente são chamados de elicitores ou eliciadores.

Um elicitor pode ser definido como uma substância que, quando introduzida em pequenas concentrações a um sistema celular vivo, inicia ou melhora a biossíntese de compostos específicos. A elicitação é a biossíntese induzida ou aumentada de metabolitos devido à adição de vestígios de elicitores (RADMAN et al., 2003). Quando aplicados em doses baixas, os elicitores podem simular ataques de insetos ou patógenos ocasionando num aumento da atividade do metabolismo secundário. Portanto, a aplicação de elicitores para a promoção do metabolismo secundário, bem como o aumento da produtividade dos metabólitos vem sendo amplamente estudada e utilizada (ESTRADA et al., 2016).

A percepção de um elicitor pelo seu receptor geralmente ocorre por meio de eventos, tais como: a fosforilação e desfosforilação da membrana plasmática e proteínas citosólicas, fluxos iônicos, a despolarização da membrana plasmática, a alcalinização extracelular e a acidificação citoplasmática (GARCIA-BRUGGER et al., 2006). Esses eventos ocorrem entre os primeiros minutos e poucas horas após a percepção do indutor e medeiam a ativação subsequente das respostas em sequência. Na imagem a baixo podemos ver um esquema simplificado ilustrando os possíveis eventos que ligam a percepção do desencadeador à ativação ou expressão de enzimas envolvidas no metabolismo secundário (Figura 2).

Figura 2. Esquema de eventos na percepção de elicitores e suas consequências.



Fonte: FERRARI et al., 2010.

Um dos primeiros eventos associados à percepção eliciadora é a ativação de proteínas G triméricas, que por sua vez ativam fosfolipases, que podem liberar mensageiros secundários que ativam respostas sequenciais. Entre estas, uma das mais importantes é o aumento transitório da concentração cálcio intracelular ( $Ca^{2+}$ ), mediada pela ativação de canais na membrana plasmática e nas membranas internas, como o retículo endoplasmático (ER).  $Ca^{2+}$  pode ativar direta ou indiretamente, através da ligação com a calmodulina (CaM) ou com as proteínas-alvo dependentes de quinases de  $Ca^{2+}$  (CDK), tais como NADPH oxidases, que são responsáveis pela explosão oxidativa, ou com a proteína posterior a quinases (PK). A percepção do elicitador também ativa os canais da membrana plasmática ( $K^+$  /  $H^+$ ), como consequência da despolarização da membrana plasmática. Fluxos iônicos são responsáveis por uma acidificação transitória do citoplasma, que pode atuar como um sinal para a produção de metabólitos secundários. Os eliciadores também ativam cascatas de PK ativadas por mitógeno (MAPK), onde fatores de transcrição de fosforilato (TF) atuam regulando a expressão de genes que codificam enzimas envolvidas na biossíntese de metabólitos secundários específicos ou de sinais secundários (FERRARI et al., 2010). A ativação de NADPH oxidases e peroxidases apoplásticas leva a um acúmulo massivo, porém transitório de espécies reativas de oxigênio (EROS), que, juntamente com

a produção de moléculas sinalizadoras específicas de defesa, tais como etileno (ET), ácido salicílico (SA) e jasmonato (JA), podem contribuir para induzir respostas de defesa, incluindo a produção de metabólitos secundários (BOLWELL et al., 2002).

No entanto, os elementos de uma via de transdução podem ser diferencialmente ativados em resposta a diferentes elicitores. Além disso, ocorre uma extensa comunicação entre os componentes das diferentes vias de sinalização, levando a diferentes tipos de respostas ao tratamento com diferentes tipos de estímulos bióticos e abióticos. Uma via específica de transdução do eliciador pode usar uma combinação ou uma sequência de combinações parciais de tais eventos, que podem diferir em cinética e intensidade dependendo do estímulo.

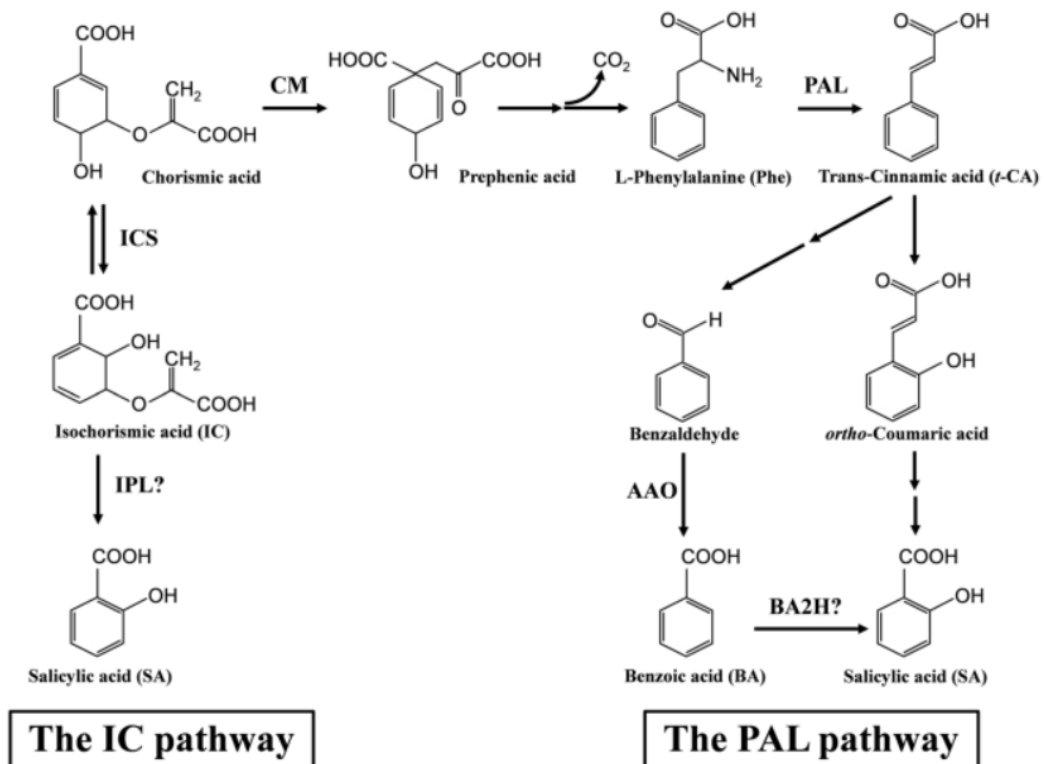
A fosforilação reversível de proteínas alvo por proteínas quinases e fosfatases é um mecanismo universal que regula as funções celulares em todos os eucariotos (NUHSE et al., 2003). A fosforilação de proteínas pode ativar diretamente as enzimas biossintéticas do metabolismo secundário por modificação pós-tradução, ou participar de cascatas de sinalização, resultando no aumento da expressão dos genes correspondentes. As PKs ativadas após a elicitação, provavelmente, representam elementos de vias de sinalização a montante da expressão de atividades biossintéticas. Em particular, a proteína quinase ativada por mitógeno vegetal (MAPK) medeiam a ativação de respostas comuns em cascata após a percepção do patógeno e elicitores derivados de patógenos (ASAI et al., 2002). As MAPKs mais extensamente caracterizadas envolvidas na defesa de plantas são a proteína quinase induzida por SA (SIPK) e a proteína quinase induzida por ferimentos.

Diversos estudos vêm demonstrando a eficiência de elicitores na produção de metabólitos secundários, porém pouco se sabe sobre seus mecanismos e rotas bioquímicas. Até mesmo a interação de elicitores com genes é um campo desconhecido e próspero para pesquisas futuras. Ainda nos falta compreender alguns parâmetros que, futuramente, poderão nos dar respostas significativas no decréscimo do uso de fitoquímicos e substâncias nocivas ao meio induzindo a própria defesa da planta, tais como o melhor elicitore a ser utilizado em determinada cultura para promover melhores resultados, as concentrações que devem ser aplicadas para ter sua melhor eficiência, o correto estágio de desenvolvimento da planta para sua aplicação, tal como o tempo de exposição e método de aplicação.

## 2.6 Ácido Salicílico

O ácido salicílico (AS) é um metabolito secundário produzido por uma vasta gama de organismos procarióticos e eucarióticos, incluindo plantas. Quimicamente, pertence a um grupo de compostos fenólicos definidos como substâncias que possuem um anel aromático junto a um grupo hidroxila ou o seu derivado funcional. É sintetizado via do isocorismato (IC) e/ou via PAL (Figura 3), porém nenhuma das rotas hoje conhecidas são completamente compreendidas, sabe-se que as duas rotas necessitam do composto corismato (KLESSIG et al., 2017). Na via da PAL, a enzima PAL converte a fenilalanina em ácido transcinâmico (t-CA) e, dependendo da espécie da planta, o t-CA pode ser convertido em ácido benzoico ou em ácido orto-cumárico originando o AS ao final da via. Já a via do Isocorismato parece ser um processo análogo ao de algumas bactérias que se utilizam de uma rota muito semelhante para a obtenção do AS (WILDERMUTH et al., 2001).

Figura 3 – Síntese do Ácido Salicílico em plantas



Fonte: Klessig et al., 2017.

Foi reconhecido como hormônio vegetal, devido sua regulação termogênica nas estruturas reprodutivas e de algumas flores de certas angiospermas (RASKIN, 1992; VLOT et al.,

2009). AS estimula a termogênese principalmente induzindo a expressão da oxidase alternativa, que por sua vez aumenta a capacidade da via respiratória alternativa mitocondrial. Este caminho, ao contrário a via respiratória do citocromo, produz ATP em apenas um passo e a energia potencial restante é liberada como calor. Curiosamente, o AS também regula a expressão alternativa da oxidase e /ou respiração alternativa em espécies de plantas não termogênicas, incluindo *Arabidopsis* (CLIFTON et al., 2005) e tabaco (NORMAN et al., 2004).

Com respeito à sua atividade de elicitor, AS atua no crescimento e desenvolvimento da planta e atua como mensageiro secundário para a ativação de genes de defesa sob condições de estresse biótico e abiótico. Vários estudos têm demonstrado que a aplicação exógena de AS pode aumentar crescimento e desenvolvimento de plantas, atuando em seus sistemas de sinalização e induzindo enzimas para catalisar a formação de compostos de defesa, tanto em plantas medicinais e em espécies alimentares funcionais (GORNI et al., 2016). Por exemplo, AS induz a expressão de genes relacionados para a produção de algumas classes de metabolitos secundários em plantas e ativa fenilalanina amônia-liase (PAL), uma enzima chave entre o metabolismo primário e o secundário (DURRANT et al., 2004). Algumas pesquisas já foram feitas com interações entre algumas espécies de plantas e o AS, como por exemplo na mostarda (*Brassica juncea* L.). A aplicação foliar de AS em concentrações tão baixas como 0,5 mM resultou em melhorias no parâmetro de crescimento sob estresse (NAZAR et al., 2015).

O AS também promove uma melhoria significativa na defesa da planta contra agentes externos, principalmente em agentes biotróficos e hemi-biotróficos, já para agentes necrotróficos o ácido jasmônico e o etileno conferem essa defesa (GLAZEBROOK et al., 2005). Estudos recentes comprovam que o AS juntamente com o fungo *Thricoderma spp.* promoveu uma maior resistência sistêmica contra o nematoide *M. Incognita* (MARTÍNEZ-MEDINA et al., 2016). Em tomate, o AS promoveu um aumento na resistência contra *Fusarium oxysporium*, onde o ácido foi aplicado tanto via foliar como nas raízes (200 µM), tendo um efeito benéfico no AS endógeno da planta, onde ocorreu um aumento significativo em seu nível. (MANDAL et al., 2009).

Em casos de ataques de insetos, o AS tem demonstrado, em recentes estudos, grande eficiência na melhoria da defesa indireta da planta por meio da emissão de substâncias voláteis (PATT et al., 2018; SHI et al., 2016; DE BOER et al., 2004; MAFFEI et al., 2007; DIEZEL et al., 2009). Primeiramente, o AS pode ser modificado diretamente para sua forma bioativa Metil Salicilato (MeSA), que é a forma mais eficiente na indução da resistência sistêmica adquirida quando comparado ao AS (PARK et al., 2007). Níveis elevados de MeSA e seu poder de atração de insetos benéficos e predadores naturais de herbívoros tem sido observado em plantas com

intuído de combater a herbivoria (HOWE et al., 2008; LORTZING et al., 2018; OZAWA et al., 2000), como podemos ver em plantas de uva na atração de insetos benéficos (JAMES et al., 2004); em plantas de lúpulo na atração de crisopídeos (JAMES et al., 2003); e plantas de soja em resposta à infestação de certas espécies de afídeos (MALLINGER et al., 2011). Folhas de álamo tratadas com exposição ao MeSA apresentaram uma indução de expressão gênica de defesa e, por consequência, ocorreu um aumento da emissão de compostos voláteis (ARIMURA et al., 2004). Plantas de feijão-lima tratadas com MeSA também exibiram elevada emissão de monoterpenos, que são capazes de atrair ácaros predadores de espécies forrageiras (OZAWA et al., 2000; HEIL et al., 2008).

Além das funções do AS atuando como promotor da melhoria na resistência da planta contra ataques externos, temos também sua atuação na resistência à algumas condições de estresse. O AS pode melhorar diminuir o dano causado pelo estresse salino (CSISZÁR et al., 2018; GHARBI et al., 2018; ANAYA et al., 2018), metais pesados (KOHLI et al., 2017; ALAMRI et al., 2018), seca (SHARMA et al., 2017; NOREEN et al., 2017), calor (NAZAR et al., 2017; WANG et al., 2017). Portanto, ainda existem muitos campos que devem ser trabalhados para uma melhor compreensão da interação do AS e outros compostos com a planta, para que sejam desenvolvidas novas tecnologias com elevado potencial de substituição ou aprimoramento de técnicas atuais tão prejudiciais ao meio.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Local de execução**

O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Floricultura e Paisagismo do Departamento de Agronomia (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG, entre os meses de dezembro/2017 a julho/2018. A área encontra-se localizada entre as coordenadas 21° 14' S, 45°00' W e uma altitude de 918 metros. Foram utilizadas instalações com três condições luminosas, mais precisamente, em coberturas com telas fotoconversoras de coloração azul, vermelha e preta (sombrite 30% de retenção de radiação) e um outro tratamento controle a pleno sol. As seguintes variáveis climáticas foram monitoradas nos meses de experimentação: temperatura máxima, mínima e média (°C), umidade relativa (%), insolação média diária (h) e precipitação total (mm) (Tabela 1).

Tabela 1 - Variáveis meteorológicas registradas no período de dezembro de 2017 a julho de 2018 na UFLA/Lavras – MG. Médias de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) em °C, umidade relativa (UR) em %, insolação (Insol) em horas e precipitação total (PrecT) em mm.

	Tmax(°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Insol (h)	PrecT (mm)
Dez/17	28,97	18,42	22,80	74,11	5,80	235,8
Jan/18	29,38	18,81	23,01	74,16	5,79	240,2
Fev/18	28,60	18,67	22,72	74,50	5,50	85,5
Mar/18	30,40	18,96	23,64	73,01	7,57	59,4
Abr/18	27,58	16,59	21,11	69,84	7,19	3,2
Mai/18	26,15	13,63	18,81	66,16	8,10	10,3
Jun/18	25,40	13,88	18,54	71,83	6,42	19,9
Jul/18	26,16	11,73	17,95	62,32	8,25	0,2

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

### 3.2 Obtenção do material

Mudas de *Lavandula angustifolia* homogêneas foram obtidas por meio da multiplicação vegetativa. As estacas foram coletadas pela parte da manhã para evitar o desgaste térmico e o material foi transportado em sacos plásticos para evitar o ressecamento. As estacas foram retiradas de ramos do terço médio da planta com, aproximadamente, 15 cm de comprimento (medidos da base para o ápice). Posteriormente, foram retiradas as folhas e enterradas na profundidade de 5 cm no tubete com substrato. Para o plantio, foram utilizados tubetes de polipropileno com capacidade de 195 cm<sup>3</sup>, contendo substrato Tropstrato HT®. As mudas foram mantidas em sombrite e irrigadas diariamente. Durante a condução do experimento, não houve a necessidade de controle de pragas e doenças. Após 60 dias do enraizamento das estacas, as mudas passaram por um período de aclimatização de um mês em estufa de sombrite preta com 70% de sombreamento e foram transplantadas para vasos plásticos de 8L.

### 3.3 Descrição dos tratamentos e de experimentação

O experimento possuiu quatro ambientes diferentes de luminosidade, sendo um a pleno sol (controle), e três tipos de malhas: preta (sombrite), malhas fotoconversoras tipo Chromati-Net<sup>®</sup> com filtros vermelho e azul, todas as telas possuíam 30% de sombreamento. As radiações de cada tratamento foram medidas com auxílio de um Piranômetro [Max. 3 000 W/m<sup>2</sup> – Li-Cor Li-200SZ] nos dias 22 e 23 de maio de 2018 em dois momentos diferentes, às 9 e às 14 horas, ambos os dias estavam ensolarados. A radiação solar foi utilizada como base para as medições e os resultados obtidos foram utilizados para obter as diferenças do total de radiação para a planta em cada tratamento.

Duas mudas foram cultivadas em cada vaso com capacidade para 8 L de substrato constituído por uma mistura de terra estéril, substrato para plantas Tropstrato HT<sup>®</sup> e areia lavada, na proporção de 1:1:1. Os valores encontrados na análise do solo foram os seguintes: pH 5,0, P: 1,26 mg/dm<sup>-3</sup>, K: 14,77 mg/dm<sup>-3</sup>, Ca: 1,52 cmol/dm<sup>-3</sup>, Mg: 0,33 cmol/dm<sup>-3</sup>, Al: 0,10 cmol/dm<sup>-3</sup>, H+Al: 2,93 cmol/dm<sup>-3</sup>, V: 69,29%, matéria orgânica: 1.23 dag kg<sup>-1</sup>.

No experimento foram utilizados 160 vasos, sendo 40 vasos com duas plantas para cada tratamento, totalizando-se 320 plantas de lavanda. Para efeitos de casualidade, em todos os tratamentos foram realizados rodízios aleatórios entre vasos a cada 15 dias, minimizando as possíveis interferências na radiação recebida por cada planta. Além disso, foram realizadas irrigações manuais a cada dois dias, exceto em dias chuvosos, e limpezas periódicas para manter o local limpo e sem interferência das possíveis plantas daninhas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em um esquema fatorial 4x2, sendo que foram um total de oito tratamentos com repetições variáveis: 4 tratamentos de radiação (pleno sol, sombrite, telas fotoconv. Azul e Vermelha) e 2 tratamentos químicos (com e sem ácido salicílico). Para as análises de óleo essencial foram coletadas 10 repetições em cada tratamento. As análises de crescimento foram realizadas durante o experimento e ao final do experimento, sendo que foram coletadas 5 plantas em cada tratamento, ao final do experimento, para realizar análises destrutivas, como peso seco de parte aérea e raiz. Já para as análises enzimáticas foram considerados os dois tratamentos de elicitação para cada tratamento de radiação, totalizando oito tratamentos e 5 repetições com dois tempos de avaliação.



### **3.4 Aplicação do Ácido Salicílico**

A elicitação foi feita após seis meses de crescimento da planta, onde o AS foi aplicado por duas vezes consecutivas durante o período da manhã, com a primeira aplicação em 195 dias após o plantio e a segunda com 210 dias. A concentração de 1,00 mM de AS foi estabelecida de acordo com estudos realizados previamente. A solução foi preparada dissolvendo o sal em água destilada utilizando um agitador magnético e aplicada nas partes aéreas da plantas com pulverizador manual num volume de 30 mL por planta. Para melhor absorção foliar foi adicionado óleo mineral tensioativo de 0,5 mL.L<sup>-1</sup>). As plantas de controle receberam apenas água destilada (1000 mL) misturada com o tensioativo (0,5 mL). Para evitar a deriva e interação entre plantas, o espaço foi separado por plástico preto ao meio em cada tratamento, durante todo o experimento.

### **3.5 Análises de crescimento**

Antes da aplicação de AS, foram realizadas seis análises a cada mês de medidas biométricas (crescimento), recolhendo dados de altura da planta com auxílio de uma fita métrica, onde foi medido a altura da base da planta junto ao solo como ponto de partida até o final do ramo principal. Ao final do experimento com a elicitação já feita, foram coletadas 10 plantas em cada tratamento e, com auxílio de fita métrica com precisão de 1 mm, paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, estufa de circulação forçada e balança digital foram obtidos dados de altura da parte aérea (APA) e comprimento da raiz (CR) e as massas secas da parte aérea e raiz (MSPA e MSR), sendo também calculada a razão parte aérea/raiz (PA/R). Os dados de massa seca foram obtidos a partir de amostras secas em estufa de circulação forçada à 65°C até atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança digital.

### **3.6 Avaliações bioquímicas**

#### **3.6.1 Análises enzimáticas**

As coletas para as análises enzimáticas foram feitas por volta das 10 horas da manhã em quatro etapas, sendo a primeira coleta após 24 horas da primeira aplicação e a segunda após 48 horas. Na segunda aplicação, após 15 dias da primeira, também foram feitas duas coletas após 24 horas e 48 horas da segunda aplicação. Foram coletados ramos do terço médio de cinco

plantas aleatórias em cada tratamento em quantidade suficiente para as análises e, em seguida, foram armazenadas em sacos feitos de papel alumínio com identificação e armazenados em caixa de isopor contendo nitrogênio líquido para melhor conservação. Após o término das coletas, as amostras foram armazenadas em freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$ .

As atividades das enzimas do sistema antioxidantes como a Catalase (CAT) e Superóxido Dismutase (SOD) foram avaliadas. Para a obtenção do extrato enzimático bruto para quantificação das enzimas citadas foram pesados 200mg de material fresco e macerados com nitrogênio líquido e antioxidante PVPP (polivinilpolipirrolidona). Foi preparado um mix contendo fosfato de potássio 100mM, EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10mM e água destilada. Após a preparação do mix, 1500  $\mu\text{L}$  da solução foi colocada em cada microtúbulo e, em seguida, centrifugado a 13.000 g por 10 min a  $4^{\circ}\text{C}$ , após foi coletado o sobrenadante e armazenado em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$  para as análises.

### **3.6.2 Superóxido Dismutase**

A avaliação da atividade da enzima SOD foi executada seguindo o protocolo SOD-Elisa adaptado de Giannopolitis & Ries (1977), onde 5  $\mu\text{L}$  do sobrenadante foi adicionado juntamente com um mix contendo fosfato de potássio 100mM, metionina 70mM, EDTA 10mM, NBT (Cloreto de Azul Nitrotetrazólio) 1mM e riboflavina 0,2mM. Após a adição da mistura na placa, essa foi iluminada por 7 minutos e, em seguida, foram feitas leituras a 560 nm no ELISA. A atividade foi calculada de acordo com a capacidade da SOD em inibir a fotorredução do NBT.

### **3.6.3 Catalase**

A avaliação da atividade da enzima CAT foi executada seguindo o protocolo CAT-Elisa adaptado de Havir & Mchale (1987), onde 9  $\mu\text{L}$  do sobrenadante foi adicionado em placa acrílica juntamente com um mix de tampão fosfato de potássio 200 mM e peróxido de hidrogênio 250mM, após o preparo das placas foram feitas leituras a 240 nm no ELISA de 15 em 15 segundos durante 3 minutos. A atividade da catalase foi determinada pelo consumo de peróxido de hidrogênio com o tempo.

### 3.6.4 Ascorbato Peroxidase

A atividade da enzima APX foi obtida seguindo a metodologia descrita por Nakano & Assada (1981), com modificações. Onde alíquotas de 9  $\mu$ L do sobrenadante foram pipetadas em placa de Elisa juntamente com o meio de incubação constituído de tampão fosfato de potássio 100 mM, ácido ascórbico 0,5mM e água destilada. Após o preparo, adicionou-se H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 4mM (9  $\mu$ L por reação), e foi realizada a leitura em espectrofotômetro com absorvância de 290 nm. Sua atividade foi determinada pela taxa de oxidação do ascorbato a cada 15 segundos, por um período de 3 minutos formando um gráfico.

### 3.7 Extração e análise do óleo essencial

As plantas foram coletadas 15 dias após a última aplicação de elicitor e com, aproximadamente, seis meses de idade. Foram coletadas as partes aéreas (flores, galhos e folhas) de cinco plantas em cada tratamento em quantidade suficiente para a extração. O óleo essencial foi extraído por hidrodestilação de 150g de plantas frescas picadas e separadas em 3 balões volumétricos com 50g em cada, após a separação das massas, o volume interno do balão foi preenchido com água destilada. Para a extração, foi utilizando um aparelho de Clevenger modificado acoplado a um balão de fundo redondo de 1L (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 2010). A extração do óleo foi completada após duas horas mantendo a solução em ebulição. Subsequentemente, o hidrolato recolhido foi centrifugado utilizando uma centrífuga de bancada com uma travessa horizontal (modelo 206 FANEM Baby®I BL) a 965g durante 10 minutos. O óleo foi removido cuidadosamente com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, transferido para frasco de vidro âmbar embrulhado com folha de alumínio protegidos contra a luz e umidade, e armazenados a baixa temperatura num refrigerador.

Para a determinação do teor de umidade do material vegetal foi utilizado o sistema de Dean e Stark, onde se baseia no princípio da imiscibilidade de solventes, no caso o cicloexano com a água. Foram pesados 5g de material vegetal picado e colocados em um balão de vidro contendo 80 mL de cicloexano. Após duas horas, o volume de água presente no material vegetal foi quantificado. A determinação da umidade foi realizada seguindo a metodologia descrita por Pimentel et al. (2006). O rendimento de óleo foi calculado como razão da massa de óleo extraído pela massa foliar usado em base livre de umidade.

A análise do óleo essencial foi realizada no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa de modelo QP sistema 5050A (Shimadzu, Tóquio, Japão), sob as seguintes condições experimentais: coluna capilar de sílica fundida (30 mm x 0,25 mm) com DB5 ligado fase (0,25 µm filme de espessura); o Hélio foi utilizado como gás transportador com um caudal de 1,0 mL min<sup>-1</sup>. A temperatura foi programada mantendo 50 °C durante 1,5 min seguida de um aumento de 4 ° C min<sup>-1</sup> até 200 °C, em seguida a 10 °C até atingir 250 °C, mantendo-se esta temperatura constante durante 5 min. A temperatura do injetor foi de 250 °C e temperatura do detector (ou interface) de 280 °C. O volume da amostra injetada foi de 0,5 µL utilizando acetato de etilo como solvente. A taxa do volume injetado foi de 1: 100 e a pressão de 64,20 kPa coluna. As condições de espectrometria de massa foram: 1,000 detector de scanner, com uma gama de varrimento de 0,50 fragmento e fragmentos detectados no intervalo de 40 a 500 Da. A identificação dos componentes foi efetuada com base em uma comparação dos índices de retenção literatura (ADAMS, 2007). Para o cálculo da taxa de retenção foi utilizada a equação de van den Dool e Kratz (1963) em relação à série homóloga de alcanos de cadeia linear (NC8-nC18), o octano octadecano fez a extrapolação para C19 e C20 (o nonadecano e dodecano). Também foram usadas duas bibliotecas comerciais NIST107/ NIST21 e que permitem a comparação dos dados a partir dos espectros com os da biblioteca.

### **3.8 Análises estatísticas**

No presente trabalho os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Shapiro-Wilk as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ). As análises foram realizadas utilizando o software estatístico Assistat versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016)

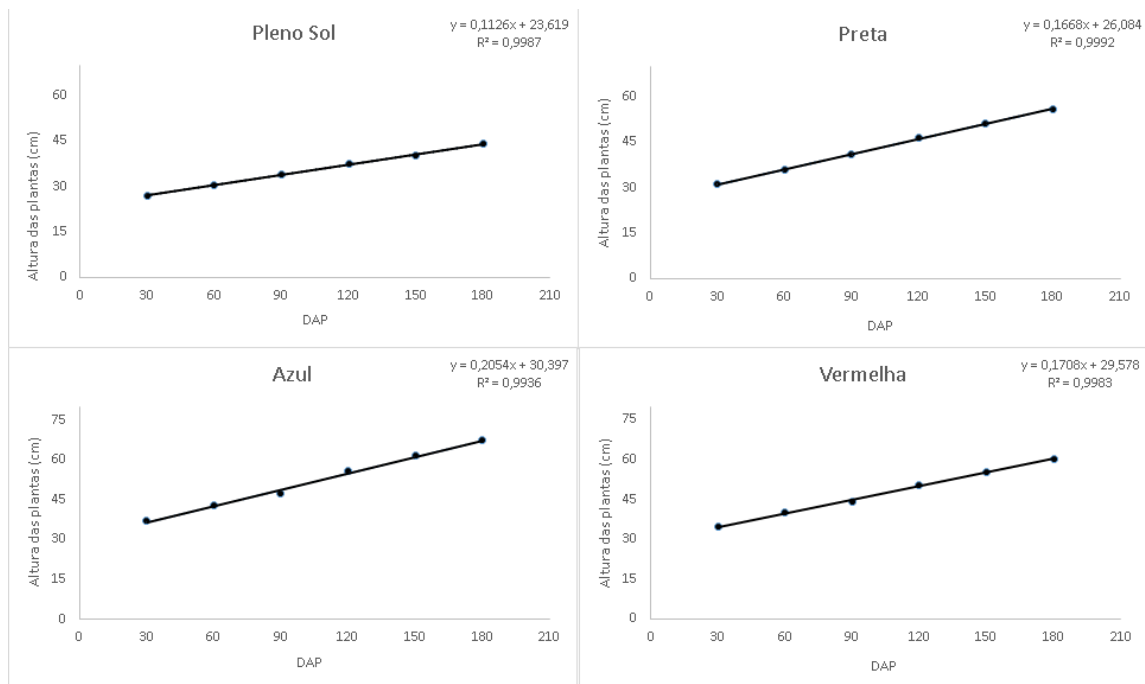
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Avaliação do crescimento**

#### **4.1.1 Influência da radiação**

Verificou-se um aumento na altura nas plantas de *L. dentata* durante o período do experimento (Figura 4). As plantas cultivadas em pleno sol apresentaram menor taxa de crescimento e altura final quando comparadas às malhas coloridas, sendo inferior em 21% na malha preta; 35% no azul e 27% na vermelha. As plantas que mais cresceram foram as das malhas azul, seguidas da vermelha, preta e pleno sol (Figura 4). Resultados similares foram observados em *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. 'Chuju' (JIN et al., 2012), em *Piper aduncum* L. (PACHECO et al., 2016) e em *Melissa officinalis* L. (OLIVEIRA et al., 2016). Tais resultados podem ser explicados pela faixa de absorção dos fitocromos ligados ao desenvolvimento da planta. Como o fitocromo e outros fotorreceptores absorvem radiação na região vermelha do espectro, esses por sua vez provocam respostas diferenciais em fototropismo, crescimento e morfogênese (SMITH, 1982), o aumento da altura em plantas de lavanda pode ser devido a maior relação vermelho/ azul fornecida pela rede azul.

Figura 4 – Altura da parte aérea de plantas de *Lavandula dentata* L. cultivadas em diferentes ambientes de sombreamento: pleno sol, malhas preta, azul e vermelha (30% de sombreamento). UFLA, 2018



Em relação à massa seca, houve diferenças entre os tratamentos sem aplicação do AS (TABELA 2). Plantas cultivadas em pleno sol e na malha azul obtiveram maior MSA e, conseqüentemente, maior relação PA/R. No entanto, a qualidade da radiação pode influenciar no local de alocação de biomassa, como podemos ver comparando as plantas do PS, MA e MV,

onde a MSR de plantas cultivadas sob MV apresentaram maior biomassa em comparação aos demais tratamentos.

Tabela 2 - Valores médios da altura (cm), MAS = massa seca da parte aérea (g), MSR = massa seca da raiz (g), MST = massa seca total (g) e PA/R = relação parte aérea raiz e INF = número de inflorescências de *Lavandula dentata* L. avaliadas 30 dias após elicitação com 1mM de ácido salicílico. UFLA, 2018.

Tratamentos	ALT (cm)	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)	PA/R	INF
<i>Controle</i>						
Sol	1,53 b	43,46 a	24,04 b	67,50 b	1,80 a	34,0 a
Preta	2,41 b	30,22 b	22,88 b	53,10 c	1,32 b	4,8 c
Azul	1,47 b	41,32 a	23,66 b	64,98 b	1,74 a	5,8 c
Verm	2,22 b	37,32 b	28,46 a	65,78 b	1,31 a	8,0 c
<i>1mM AS</i>						
Sol	3,98 b	48,68 a	28,18 a	76,86 b	1,73 a	41,0 a
Preta	8,87 a	54,94 a	27,56 b	82,50 a	1,99 a	12,8 c
Azul	5,97 a	58,38 a	29,98 a	88,36 a	1,94 a	16,2 c
Verm	6,35 a	66,78 a	33,50 a	100,28 a	1,99 a	25,0 b

\*Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey,  $p < 0.05$ .

#### 4.1.2 Influência do ácido salicílico

A aplicação de AS influenciou diretamente no crescimento de *L. dentata*, no decorrer dos 21 dias, havendo um aumento significativo em todos os tratamentos de radiação no ganho de ALT, MSA, MSR, MST, PA/R e NF quando comparados ao controle (Tabela 2). Em ALT, houve um acréscimo médio de 6,3 cm, enquanto sem a ação do AS a média foi de 1,9 cm, o que corresponde a um aumento de 230%. Em relação à massa das plantas, houve um acréscimo médio de 38% na MST em plantas tratadas com AS, ocorrendo uma maior diferença em plantas sob estresse de radiação, onde o ganho em massa foi maior e a média do acréscimo foi de 47,6% na MST. A relação PA/R também obteve um ganho significativo nas plantas das malhas, onde o efeito do AS sobre o crescimento vegetativo foi maior em comparação ao pleno sol, o que pode ser explicado pelo aumento do investimento da planta em raiz, já que a irradiação intensa causa danos no aparato fotossintético e aumenta o nível de EROS e danos oxidativos.

Apesar dos efeitos da aplicação exógena de AS no crescimento depender das espécies de plantas usadas, do estágio de desenvolvimento da planta e das concentrações de AS testadas, seus efeitos estimuladores no crescimento foram relatados em diversas espécies. Em girassol (*Helianthus annuus* L.) sob estresse salino, o AS além de mitigar os efeitos do estresse, aumentou a altura das plantas e a massa seca da parte aérea e raízes (NOREEN; MUHAMMAD, 2008). Também sob estresse salino, as plantas de fava (*Vicia faba* L.), pimenta (*Capsicum Annuum* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L., cv Sakha-53) apresentaram um aumento da altura e da massa seca sob efeito do AS (AHMAD et al., 2018; QADOS et al., 2015; YOUSSEF et al., 2017). Em estresse de seca o AS atua da mesma maneira no crescimento, como por exemplo, em plantas de alface (*Lactuca sativa* var longifolia) e milho (*Zea mays* L.) ocorreu um incremento, tanto em altura quanto em massa seca sob efeito do AS, quando comparados ao controle (BANKOLE et al., 2018; LATIF et al., 2016).

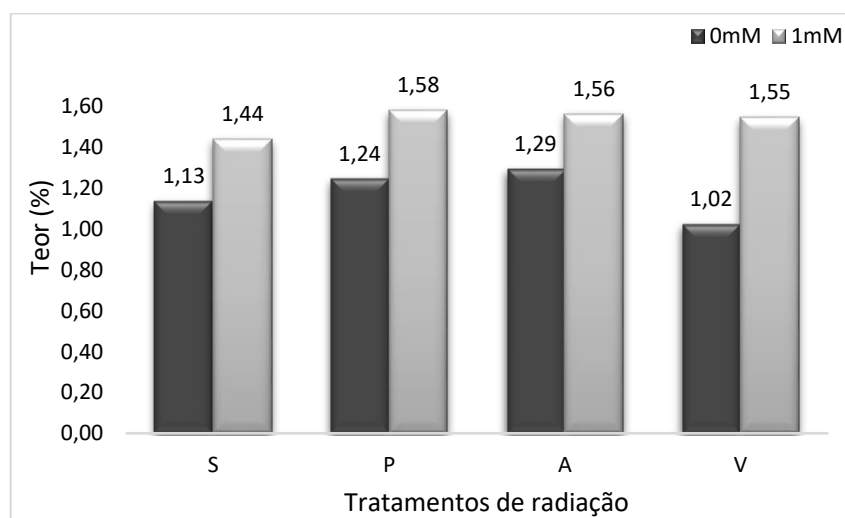
Em relação ao florescimento, as plantas de lavanda submetidas a 1mM de AS apresentaram um aumento geral do número de flores (81%), fato esse de extrema importância já que o óleo essencial mais rico em compostos é o extraído a partir de flores (ŚMIGIELSKI et al., 2013). A contribuição do AS para a regulação de floração é bem conhecida há muito tempo. Segundo Lee e Skoog (1965), apenas 4 µM de AS foram o suficiente para promover a formação de gemas de flores a partir de calos de tabaco. Pouco depois em 1974, o AS foi identificado como sendo o fator transmissível ao floema, onde o honeydew secretado pelo afídeo (*Dactynotus ambrosiae*) após se alimentar da seiva da planta *Xanthium strumarium* continha elevada quantidade de AS e era responsável pela cultivada com fotoperíodo reduzido (CLELAND & AJAMI, 1974). Em estudos recentes, descobriu-se que o AS endógeno e exógeno atuam positivamente no florescimento de ipoméia pharbitis (*Ipomoea nil*) quando em situação de estresse, alterando a expressão de genes e atividades enzimáticas (WADA et al., 2014). Em *Ixora coccinea* L., o AS agiu positivamente aumentando o número de flores e altura das plantas, chegando a valores próximos do ácido giberélico (conhecido hormônio responsável pelo alongamento celular, mobilização de reservas do endosperma e desenvolvimento de flores e frutos) (GAD et al., 2016). Apesar dos trabalhos feitos, pouco se sabe do efeito do AS no crescimento e desenvolvimento de plantas.

## **4.2 Análise do teor de óleo essencial**

### **4.2.1 Influência da radiação**

As diferentes qualidades de radiação influenciaram diretamente no teor de óleo essencial de *L. dentata* (Figura 5). As plantas expostas à radiação direta apresentaram um teor inferior a maioria dos tratamentos com tela (1,13%), sendo superior somente ao tratamento da malha vermelha (1,04%). Isso se justifica pelo alto estresse ocasionado pela exposição mais intensa à radiação. Essa condição ativa um mecanismo de defesa da planta, que atua desviando a maioria dos carbonos que iam para a produção vegetativa, para a produção de metabólitos secundários (THINES et al., 2007). Contudo, as plantas em pleno sol obtiveram a maior produção de óleo essencial, com 0,69g sem aplicação de AS e 0,79g com aplicação. O tratamento que obteve o rendimento mais expressivo foi o da malha azul (1,29%), esse comportamento também foi observado em *Melissa officinalis* (OLIVEIRA et al., 2016), em *Piper aduncum* (PACHECO et al., 2016) e *Ocimum gratissimum* (MARTINS et al., 2008). Já o tratamento com o pior rendimento foi o de malha vermelha (1,02%), fato esse que também foi observado nos trabalhos citados acima e também corrobora com os resultados encontrados por Silva Brant et al. (2009). De acordo com esse autor, a mudança provocada pela incidência da radiação vermelha ocasiona a falta de outro comprimento de onda, já que a malha possui filtro de transmissão de determinados espectros. Essa falta de comprimentos específicos pode provocar a anulação de alguma rota importante para a síntese de terpenos e prejudica a produção do óleo essencial.

Figura 5 – Teores de óleo essencial de folhas e flores frescas de *Lavandula dentata* 15 dias após a elicitação com 1mM de ácido salicílico em diferentes qualidades de radiação.





#### 4.2.2 Influência do ácido salicílico

A elicitação com AS promoveu aumento no rendimento de óleo essencial de *Lavandula dentata* em todas as qualidades de radiação (Figura 5). Para as plantas submetidas a pleno sol, a elicitação promoveu um acréscimo no rendimento de 27,43%, já para as plantas das malhas ocorreu um aumento de 27,42% na malha preta, de 20,93% no azul e de 51,96% no vermelho. Esse efeito já tem sido observado em alguns trabalhos, como por exemplo em tomilho (*Thymus daenensis* Celak.), onde se obteve maior produção de óleo essencial (3,3%) com a aplicação de 3mM de AS (PIRBALOUTI et al., 2014). Resultados semelhantes também foram observados em *Nepeta cataria* (SAID-AL AHL et al., 2016), em *Ocimum basilicum* e *Marjorana hortensis* (GARIB et al., 2006), em *Foeniculum vulgare* Mill (HASHMI et al., 2012). Outro ponto importante para ser considerado é a concentração de AS utilizada, onde vemos 1mM como sendo a concentração que melhor obteve resultados para espécies medicinais, como em *Mentha piperita* (AHMAD et al., 2018), em *Ocimum basilicum* (MIRZAJANI et al., 2015) e em *Achillea millefolium* (GORNI et al., 2016), esses dados justificam a escolha de 1mM como concentração única para o presente trabalho.

O método de ação do AS justifica o aumento nos rendimentos do óleo essencial, pois sua atuação como elicitor, simulando um ataque à planta, gera um aumento na atividade do metabolismo secundário como uma resposta de defesa da planta. Como mencionado, o aumento da produção de EROS ocasiona uma maior atividade do sistema antioxidante, que por consequência, faz com que as plantas produzam mais metabólitos secundários (ASKARI; EHSAN-ZADEH et al., 2015). Segundo Idrees (2010), esse maior rendimento de óleo essencial pela aplicação de AS exógeno, deve-se ao aumento do crescimento, absorção de nutrientes e um crescimento populacional de células glandulares oleíferas nas folhas e flores, além da biossíntese de monoterpenos. Os monoterpenos, um tipo de terpenóide fruto do metabolismo secundário, possuem biossíntese induzida por algum estresse biótico ou abiótico e agem diretamente em rotas biológicas essenciais para a defesa da planta (LORETO; SCHNITZLER, 2010). Além disso, o AS atua também como hormônio responsável pela ativação de genes de defesa da planta, melhorando sua resistência sistêmica adquirida (KUMAR et al., 2014; KHAN et al., 2015).

### 4.3 Composição química do óleo essencial

#### 4.3.1 Influência da radiação

Quanto à sua composição química, foram encontradas mais de 20 substâncias no óleo essencial de *L. dentata* (Tabela 2). Os compostos majoritários foram iguais em todos os tratamentos, sendo eles 1,8-cineol, cânfora e fenchona, os três juntos totalizaram mais de 70% da composição. Considerando que os constituintes 1,8-cineol e cânfora conferem ao óleo essencial de *L. dentata* propriedades medicinais devido à ação antifúngica e bactericida, Masetto (2011) encontrou os mesmos compostos majoritários para *L. dentata* cultivada no Brasil. Em outros continentes, observa-se resultados semelhantes em óleo de *L. dentata* proveniente da Tunísia, onde os compostos majoritários são os mesmos quando comparados a este trabalho (TOUATI et al., 2011). Porém, a qualidade do ambiente em que a planta está inserida possui grande influência na composição química do óleo, fato que pode ser observado em óleo essencial de *L. dentata* cultivada em outros países africanos. O óleo essencial proveniente da Argélia apresentou diferenças em sua composição, apesar do 1,8-cineol (38,4%) continuar sendo o principal componente, pode-se observar um grande decréscimo na quantidade de fenchona e cânfora (DOB et al., 2005). Já em óleo essencial proveniente de Marrocos ocorreu uma brusca modificação, onde os componentes majoritários encontrados passaram a ser o linalol (28,9%) e o acetado de linalila (43,5%) (IMELOUANE et al., 2009).

Tabela 2 - Teores dos compostos químicos identificados nos óleos essenciais de *Lanvandula dentata*, extraídos de folhas frescas e secas após elicitação com 1mM de ácido salicílico. UFLA, 2018

Constituintes	IK <sup>a</sup>	0mM				1mM			
		Sol	Preta	Azul	Verm.	Sol	Preta	Azul	Verm.
$\alpha$ -pineno	932	1,62	2,09	1,55	1,90	1,42	2,28	1,71	2,01
Canfeno	946	0,49	0,51	0,43	0,56	0,43	0,53	0,43	0,54
Sabineno	969	0,43	0,51	0,42	0,43	0,37	0,54	0,37	0,48
$\beta$ -pineno	974	3,20	3,57	2,96	3,53	2,91	3,77	2,91	3,70
Mirceno	988	0,18	0,19	0,11	0,06	-	0,23	0,11	0,14
o-cimeno	1020	1,24	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,09	1,37
1,8-cineol	1026	38,11	38,92	37,92	37,74	41,05	38,57	38,78	37,22
Linalol	1095	1,37	2,13	1,80	1,69	1,97	2,27	1,92	2,08
Fenchona	1083	17,35	16,41	17,30	18,08	16,83	16,58	16,21	17,09
endo-fenchol	1018	5,24	5,53	6,64	5,74	5,23	6,11	5,76	4,65
Limoneno	1137	0,17	0,17	0,18	0,15	0,19	0,13	0,22	0,23
Pinocarveol	1135	1,10	1,14	1,31	1,31	1,47	1,08	1,44	1,16
Cânfora	1141	21,76	17,28	18,47	19,31	21,34	17,00	18,13	19,12
Pinocarvona	1160	0,50	0,53	0,76	0,75	0,52	0,53	0,71	0,59
Isoborneol	1155	1,26	1,16	1,36	1,25	1,18	1,23	1,48	1,26
$\gamma$ -terpineno	1174	0,28	0,25	0,23	0,27	0,23	0,20	0,26	0,23
Furano	1031	0,55	0,72	0,57	0,61	0,59	0,68	1,39	1,16
Lyrál	1195	1,04	0,96	1,28	1,26	0,86	0,96	0,77	0,69
Farneseno	1454	0,10	0,16	0,12	0,06	0,03	0,16	0,32	0,14
$\alpha$ -selineno	1498	0,26	0,42	0,63	0,43	0,12	0,58	0,44	0,45
Cariofileno	1582	0,95	0,91	1,12	1,03	0,93	0,87	1,04	0,77
$\beta$ -eudesmol	1649	0,67	0,77	1,53	0,93	0,67	0,94	1,38	1,22
$\alpha$ -bisabolol	1685	0,10	0,32	0,43	0,41	-	0,45	0,36	0,42
Lanceol	1760	2,04	5,03	2,70	2,47	1,55	4,00	3,83	4,43
<b>Total (%)</b>		100	99,8	99,9	100	100	99,8	100	100

Apesar da grande semelhança entre os tratamentos de radiação, os resultados mostram uma diferença na quantidade de alguns compostos majoritários, como por exemplo o linalol que obteve maior quantidade em óleos advindos das malhas, tal resultado também foi observado em *Eucalyptus citriodora* Hook (DEGANI et al., 2016) e a cânfora, que obteve uma maior quantidade nos óleos de plantas provenientes do pleno sol. Essa modificação na composição e na proporção dos constituintes químicos no óleo volátil por efeito do sombreamento confirma observações feitas por outros autores em plantas aromáticas (GRAUSGRUBER-GRÖGER et al., 2012; VERMA et al., 2015).

#### 4.3.2 Influência do ácido salicílico

A elicitação promovida pelo AS apresentou modificações na qualidade do óleo essencial de *L. dentata*. Apesar dos componentes encontrados serem os mesmos entre tratamento e con-

trole, ocorreram mudanças na concentração de alguns compostos. O teor de 1,8-cineol foi aumentado em 7,16% no óleo essencial proveniente de plantas em pleno sol tratadas com AS, resultado também observado em *Ocimum basilicum* L (GHARIB et al., 2006). Fato que não foi observado em plantas provenientes das malhas, onde se vê um teor semelhante com ou sem a atuação do AS. Considerando o linalol como um dos compostos mais valiosos no óleo essencial de *Lavandula*, pode-se observar em todos os tratamentos de radiação que a aplicação do AS influenciou no acréscimo do teor de linalol, onde ocorreram aumentos de até 30,5% em pleno sol, 6,2% na malha preta, 6,3% no azul e 18,8% na vermelha. Resultados com tendências semelhantes também foram observados em *Salvia macrosiphon*, onde os tratamentos com aproximadamente 1mM e 2mM de AS apresentaram um aumento de mais de 100% no teor de linalol em comparação com o controle (ROWSHAN et al., 2010).

Em relação aos outros componentes, não ocorreram mudanças significativas com a aplicação do AS. Ocorreu um pequeno aumento no teor de 1,8-cineol (7,7%) em pleno sol, porém os teores de cânfora e fenchona se mantiveram parecidos em relação à aplicação ou não do AS em todos os tratamentos de radiação, no entanto o fato é compensado com o aumento do rendimento do óleo essencial.

#### **4.4 Análises Bioquímicas**

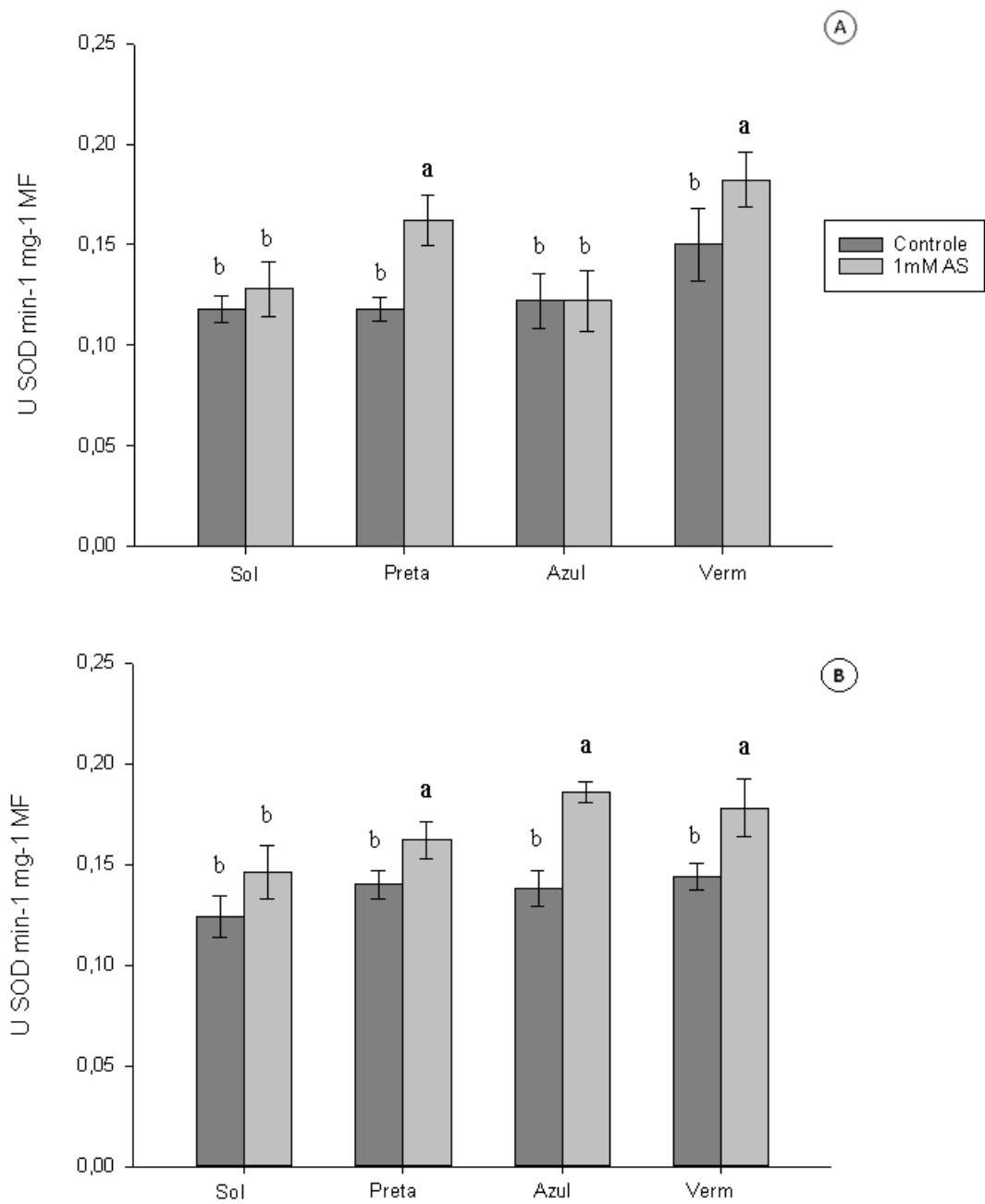
##### **4.4.1 Sistema antioxidante**

Como foi destacado, uma das principais funções do AS é atuar como sinalizador de um ataque ou estresse sofrido. Quando o AS é aplicado a planta reconhece como um sinal de ataque e, imediatamente, ocorrem em cadeia vários processos metabólicos de defesa, e um desses processos é o aumento da concentração de EROS. Posteriormente, sob efeito do AS, ocorre o aumento da atividade enzimática antioxidante, composta principalmente pelas enzimas SOD, CAT e APX (LI et al., 2014). De acordo com os resultados, confirma-se que as plantas sob efeito do AS estavam sob estresse e apresentaram um aumento da atividade enzimática antioxidante. Um fato que também corrobora é o aumento da atividade do metabolismo primário e secundário, que se confirma com a produção de óleo essencial e aumento do crescimento (HERNÁNDEZ-RUIZ et al., 2018).

A atividade da enzima SOD foi maior em todos os tratamentos com AS em relação às plantas controle (Figura 6 e 7). Na primeira avaliação com 24hrs após da primeira aplicação,

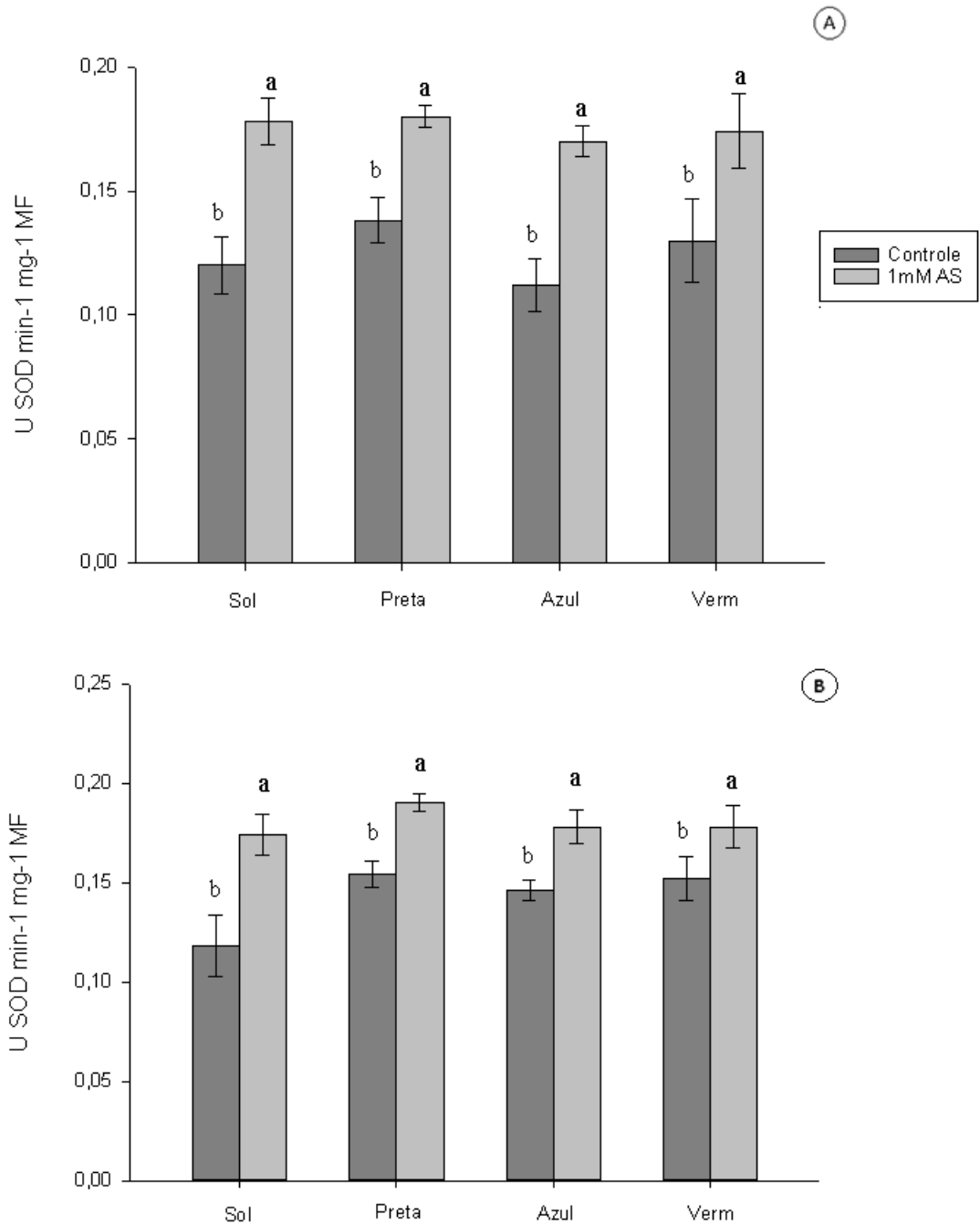
observou-se um aumento da atividade enzimática que se estabiliza em 48 horas, onde esse aumento ficou ainda mais evidente. Porém, após 24 horas da segunda aplicação, observou-se uma maior taxa de atividade enzimática e maior estabilidade (Figura 7), que se mantém até as 48 horas após segunda avaliação. Outros estudos com espécies diferentes, porém, utilizando o mesmo elicitor, obtiveram resultados semelhantes como em *Vicia faba* L. onde foi observado um aumento de 79,49% na atividade da SOD na concentração de 100mM de AS (AHMAD et al., 2018). Um resultado semelhante também foi visto em feijão-da-china (*Vigna radiata* L. Wilczek), onde sob estresse de alumínio (Al) ocorreu um aumento significativo da atividade de algumas enzimas antioxidante como a SOD, por exemplo, aumentou sua atividade em 73% no tratamento combinado de 10mM de AS e Al quando comparada ao controle (ALI et al., 2017). Considerando que a enzima SOD é a principal responsável pela transformação do oxigênio singlete em peróxido de hidrogênio e oxigênio (menos reativos), sua participação no início do processo de redução de EROS torna-se fundamental. Além disso, a elevação da produção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no interior celular serve como sinalizador para que outros processos metabólicos antioxidantes iniciem (MANIVANNAN et al., 2016).

Figura 6 - Efeito da aplicação de ácido salicílico (1mM) na atividade enzimática da Superóxido Dismutase (U SOD mg MF<sup>-1</sup>em folhas de *L. dentata*, na primeira aplicação, 24 horas(A) e 48 horas (B) após a aplicação . UFLA , 2018



Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ).

Figura 7 - Efeito da aplicação de ácido salicílico (1mM) na atividade enzimática da Superóxido Dismutase (U SOD mg MF<sup>-1</sup>) em folhas de *L. dentata*, na segunda aplicação, 24 horas(A) e 48 horas (B) após a aplicação . UFLA 2018

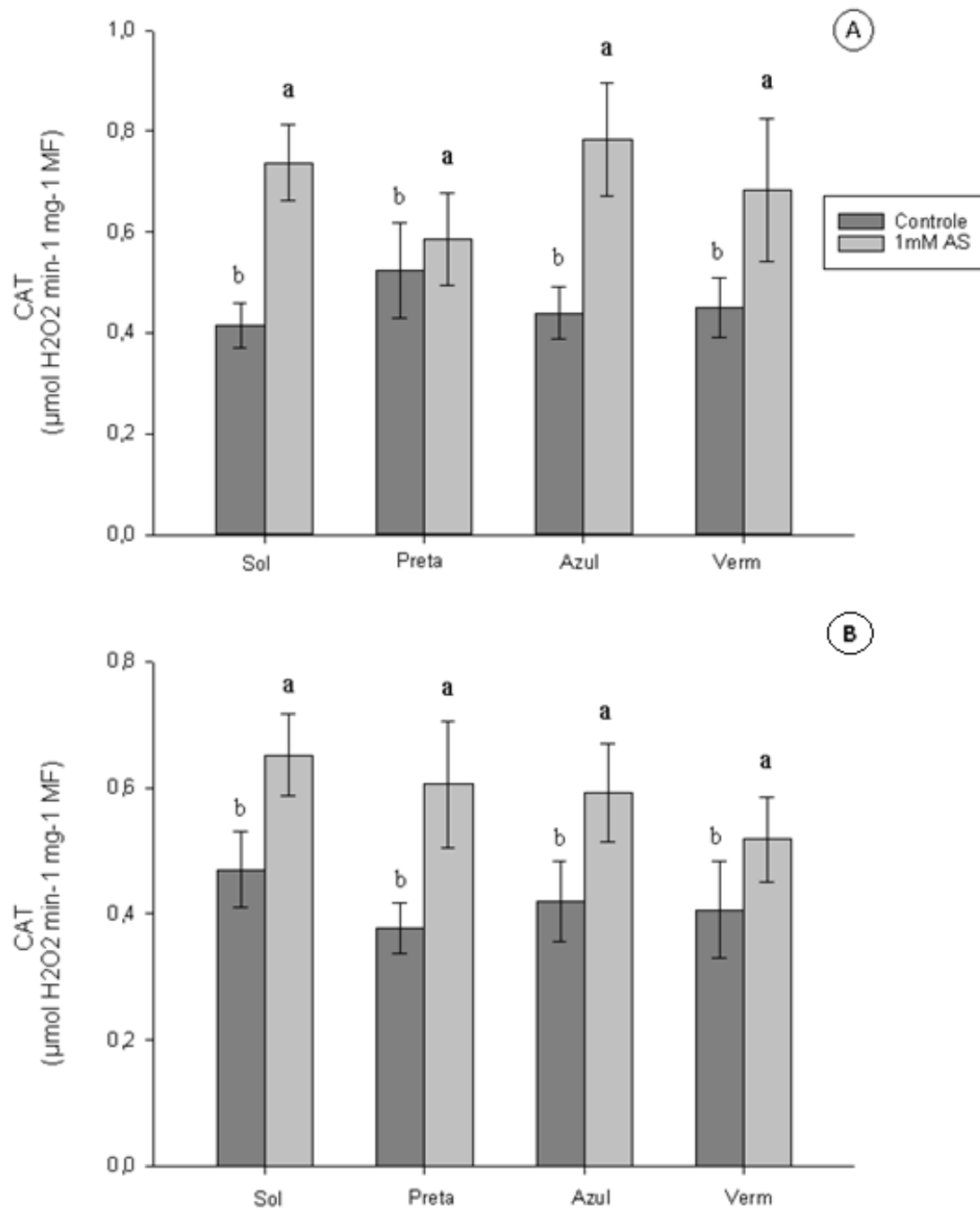


Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ).

Outra enzima que também participa da atividade antioxidante é a CAT, que como a APX, é responsável pela dismutação do  $H_2O_2$  em  $H_2O$  e  $O_2$ . De acordo com os resultados apresentados (Figuras 8 e 9), ocorreu um aumento na atividade da enzima CAT em todos os tratamentos mediante a aplicação de AS. Porém, observou-se que durante a segunda aplicação, a atividade da CAT diminuiu em comparação a primeira aplicação (Figura 9). Essa queda pode ser explicada pelo aumento da atividade de outras enzimas do sistema antioxidante tais como a SOD e a APX, que também atuam na dismutação do  $H_2O_2$ . Resultados semelhantes com a CAT foram encontrados em plântulas de pepino (*Cucumis sativa* L.), onde o tratamento que mais obteve atividade da enzima foi o com 1mM de AS sem a adição de solução nutritiva, ou seja, sob estresse nutricional e aquecimento (SHI et al., 2006). Um aumento da atividade da CAT sob ação do elicitador AS também foi evidenciada em duas cultivares de melão (*Cucumis melo* L.) quando em toxicidade por cádmio e em cevada (*Hordeum vulgare* L.) quando submetidas a estresse de frio (ZHANG et al., 2015; MUTLU et al., 2016).

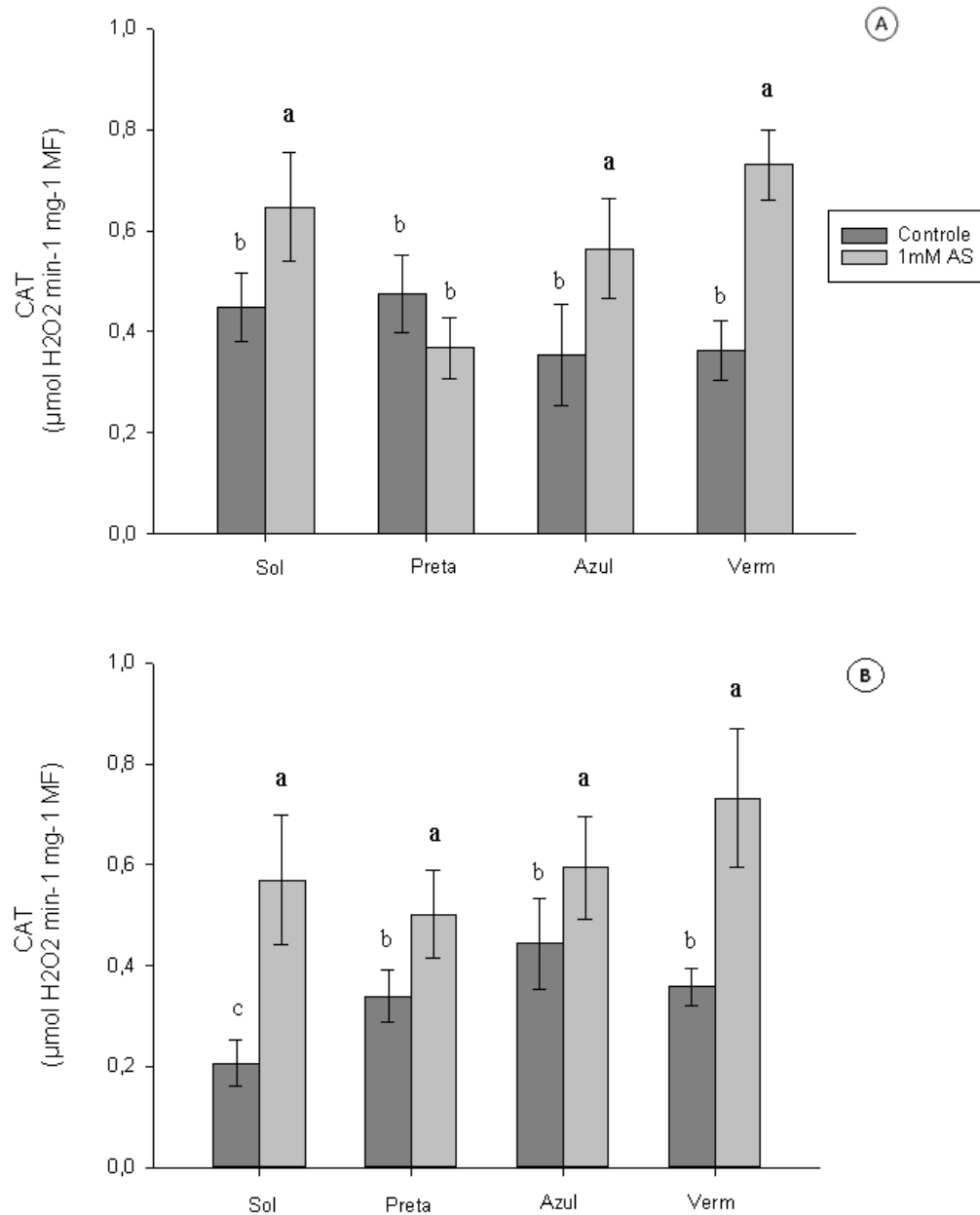
Figura 8 – Efeito da aplicação de ácido salicílico (1mM) na atividade enzimática da Catalase ( $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ MF}$ ) em folhas de *L. dentata*, na primeira aplicação 24 (A) e 48 horas (B) após a aplicação . UFLA 2018





Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ).

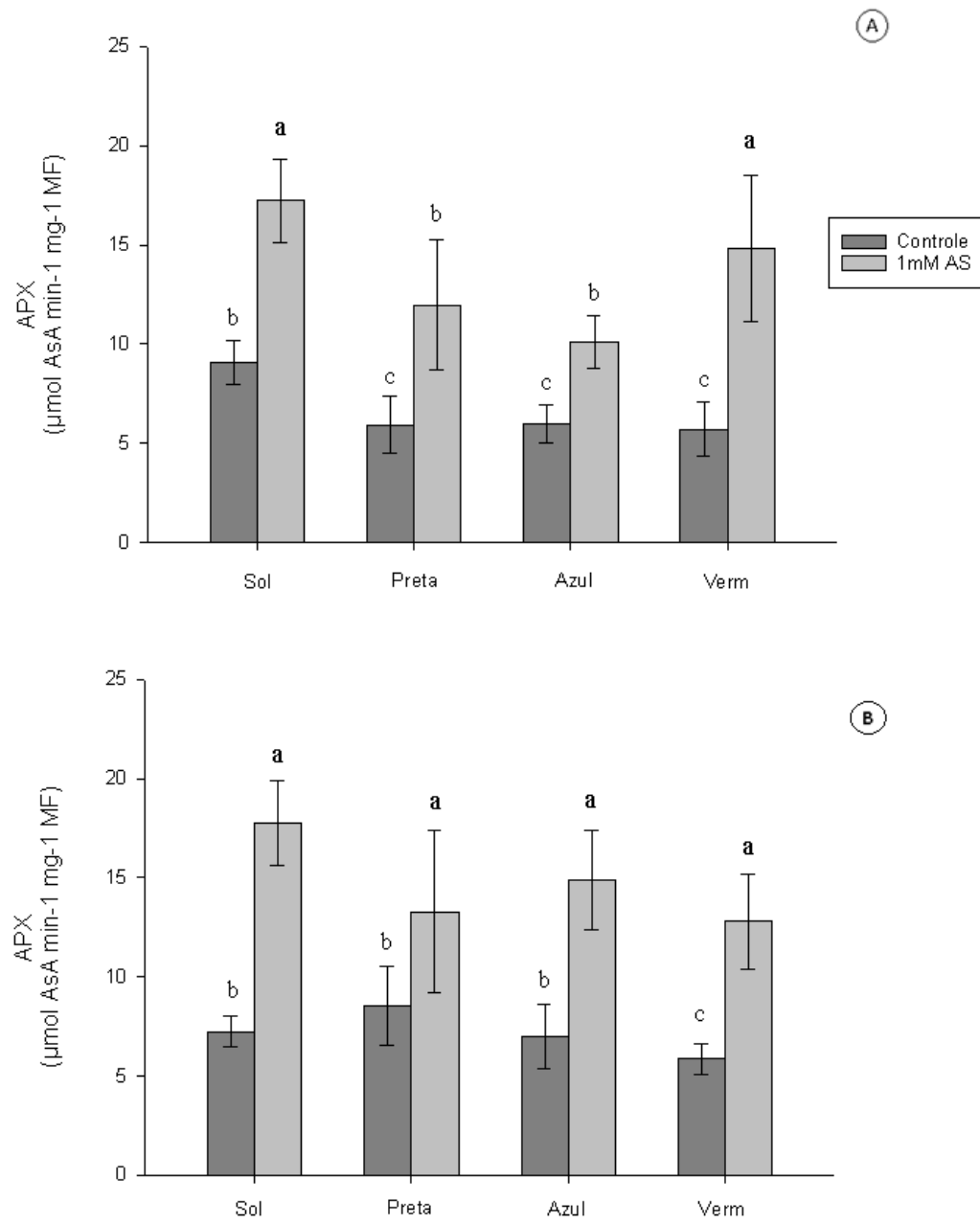
Figura 9 - Efeito da aplicação de ácido salicílico (1mM) na atividade enzimática da Catalase ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ MF}$ ) em folhas de *L. dentata*, na segunda aplicação, 24 horas (A) e 48 horas (B) após a aplicação . UFLA



Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ).

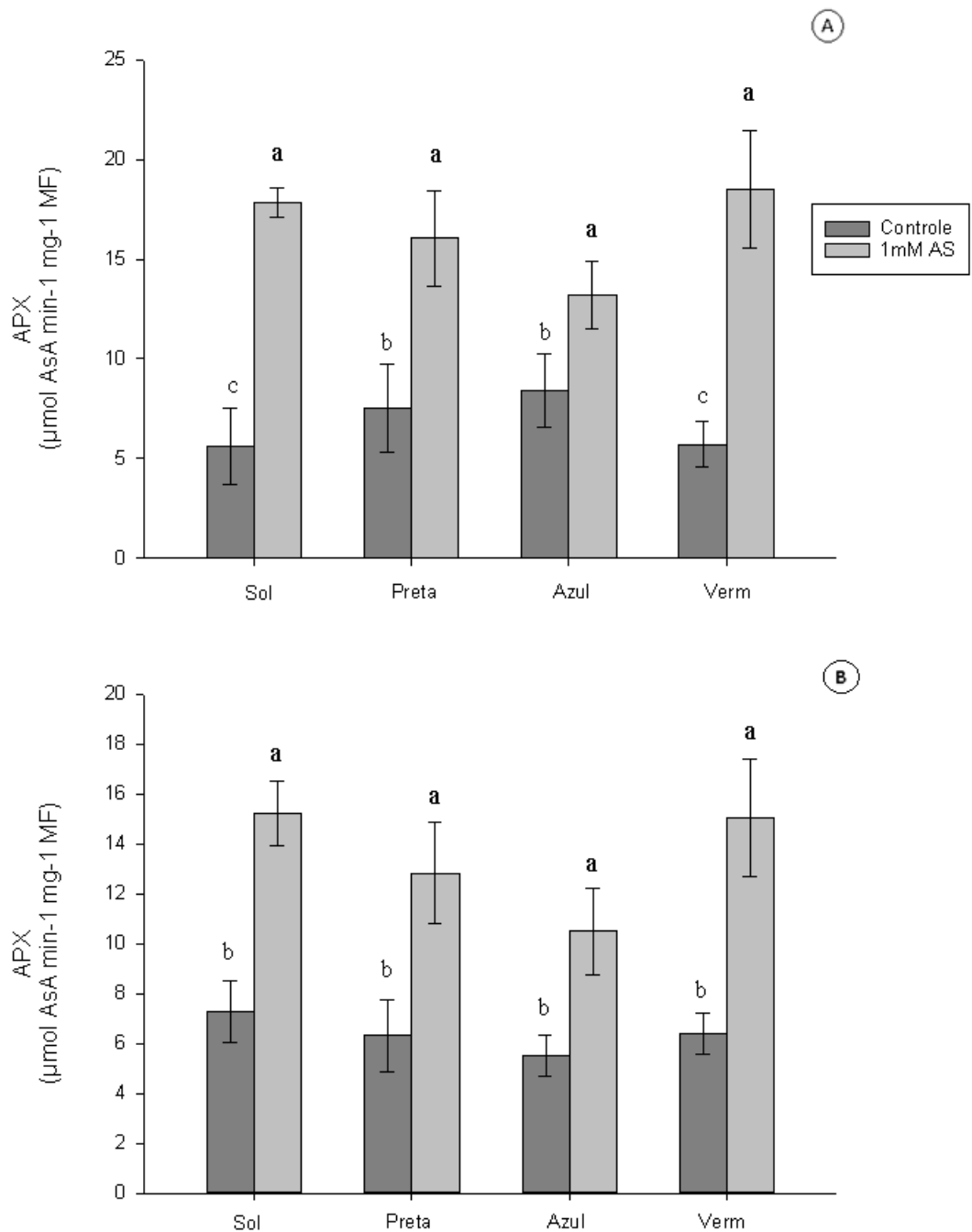
Além da SOD e CAT, uma outra enzima que se destacou no processo antioxidante foi a APX. Essa enzima, a ascorbato peroxidase acaba sendo também responsável pela dismutação do peróxido de hidrogênio em água, utilizando como doador de elétrons o ascorbato, o que a difere da enzima SOD e CAT. Além disso, quando comparada com a enzima CAT, a APX possui maior afinidade para o  $H_2O_2$ , tornando-a mais eficiente no processo antioxidante (SHARMA et al., 2012). De acordo com os resultados, ocorreu aumento da atividade da APX em *Lavandula dentata* quando submetidas ao AS (Figura 10 e 11). Percebeu-se uma maior expressão da enzima após a segunda aplicação do AS, enquanto o efeito já passa a ser observado a partir da primeira aplicação e 24 horas depois. Resultados semelhantes foram vistos em plântulas de pepino *Cucumis sativa* L sob efeito do calor como estresse, em todos os tratamentos envolvidos observou-se um aumento e o resultado mais expressivo foi o tratamento com AS + solução nutritiva (SHI et al., 2006).

Figura 10 - Efeito da aplicação de ácido salicílico (1mM) na atividade enzimática da Ascorbato Peroxidase ( $\mu\text{mol AsA min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$ ) em folhas de *L. dentata*, na primeira aplicação, 24 horas (A) e 48 horas (B) após a aplicação. UFLA 2018



Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ).

Figura 11 - Efeito da aplicação de ácido salicílico (1mM) na atividade enzimática da Ascorbato Peroxidase ( $\mu\text{mol AsA min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$ ) em folhas de *L. dentata*, na segunda aplicação, 24 horas (A) e 48 horas (B) após a aplicação de AS. UFLA 2018



Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ).

## 5 CONCLUSÃO

As plantas de *Lavandula dentata* L. submetidas à ação do ácido salicílico apresentaram características positivas à elicitação. As plantas cresceram tanto em altura quanto em massa sob efeito do AS, além disso, apresentaram um maior número de inflorescências, fato importante por ser nesse órgão onde reside o maior acumulador de óleo essencial, sobretudo de compostos de maior interesse como o linalol e o 1,8-cineol. A qualidade do óleo essencial, praticamente não foi alterada e os mesmos compostos estavam presentes nos diferentes tratamentos. Todavia, quanto ao aspecto quantitativo, observou-se um aumento de 1,8-cineol sob efeito do AS nas lavandas cultivadas em pleno sol e, também, um aumento nos teores de linalol em todos os tratamentos, cujas plantas receberam o AS. Os rendimentos dos óleos essenciais foram superiores em todos os tratamentos com AS, o que condiz com a resposta da planta ao efeito simulatório provocado pelo AS. Essa simulação, fez com que o metabolismo secundário, principal produtor de composto de defesa, aumentasse sua intensidade e produzisse maior quantidade de óleo essencial.

Uma outra característica observada foi o aumento da atividade das enzimas SOD, CAT e APX nas plantas sob efeito de 1mM de AS, resultado esse já esperado, pois a elicitação mimetiza um ataque externo gerando um fator de estresse. Esse processo desencadeia num aumento da produção intracelular de EROS e as enzimas, por meio da catálise, são peças fundamentais para a remoção das espécies reativas causadoras de danos celulares. As malhas coloridas apresentaram alguns pontos positivos, onde a azul foi a que proporcionou melhores resultados, observando um maior crescimento das plantas e alto rendimento de óleo essencial sem a ação do AS, seguida pela malha vermelha e preta. Porém, analisando o custo benefício das malhas, não justifica o seu uso para a produção em grande escala de óleo essencial de lavanda e seus derivados.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, K. L. Lavender production, products, Markets, and Entertainment farms. **A Publication of ATTRA: National Sustainable Agriculture Information Service, USA**, 2006.
- AHMAD, P. et al. Salicylic Acid (SA) Induced Alterations in Growth, Biochemical Attributes and Antioxidant Enzyme Activity in Faba Bean (*Vicia faba* L.) Seedlings under NaCl Toxicity. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 65, n. 1, p. 104-114, 2018.
- ALAMRI, S. A. D. et al. Exogenous application of salicylic acid improves tolerance of wheat plants to lead stress. **Advances in Agricultural Science**, v. 6, n. 2, p. 25-35, 2018.
- ANAYA, F. et al. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt stress. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 1-8, 2018.
- ARIMURA, G. et al. Herbivore-induced defense response in a model legume. Two-spotted spider mites induce emission of (E)- $\beta$ -ocimene and transcript accumulation of (E)- $\beta$ -ocimene synthase in *Lotus japonicus*. **Plant Physiology**, v. 135, n. 4, p. 1976-1983, 2004.
- ASAI, T., TENA G., PLOTNIKOVA J. et al. MAP kinase signalling cascade in *Arabidopsis* innate immunity. **Nature**, p. 415, 2002.
- ASKARI, E.; EHSANZADEH, P. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. **Acta physiologiae plantarum**, v. 37, n. 2, p. 4, 2015.
- BANKOLE, A. E. et al. Influence of salicylic acid on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* var longifolia) during reduced leaf water potential. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 22, n. 4, p. 543-540, 2018.
- BOLWELL, G. P., BINDSCHEDLER L.V., BLEE KA et al. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a three-component system. **J Exp Bot**, p.53, 2002.
- BOMBARDA, I. et al. Comparative chemometric analyses of geografic origins and compositions of lavandin var. grosso essential oils by mid infrared spectroscopy and gas chromatography. **Analytica Chimica Acta**, v. 613. p. 31-39, 2008.
- BOUAYAD, N. et al. Insecticidal effects of Moroccan plant extracts on development, energy reserves and enzymatic activities of *Plodia interpunctella*. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 1, p. 189-198, 2013.
- BOUSMAHA, L. et al. Intraspecific chemical variability of the essential oil of *Lavandula dentata* L. from Algeria. **Flavour and fragrance Journal**, v. 21, n. 2, p. 368-372, 2006.
- BOWN, D. *Lavandula*. In: **Encyclopedia of Herbs**, 3 ed. New York: D.K publications, inc., 2005.
- BRADLEY, B. F. et al. Anxiolytic effects of *Lavandula angustifolia* odour on the Mongolian gerbil elevated plus maze. **Journal Ethnopharmacology**, v. 111, p. 517-525, 2007.
- BUSTAMANTE, F. M. L. **Plantas medicinales y aromática**: estudio, cultivo y procesado. Madrid (España): Ed. Mundi-Prensa, p. 343, 1996.

- CAVANAGH, H. M. A.; WILKINSON, J. M. Biological activities of lavender essential oil. **Phytotherapy research**, v. 16, n. 4, p. 301-308, 2002.
- CHAGAS, J. H. et al. Produção, teor e composição química do óleo essencial de hortelã-japonesa cultivada sob malhas fotoconversoras. *Horticultura Brasileira* 31: 297-303, 2013.
- CHU, C. J.; KEMPER, J. K. Lavender (*Lavandula* spp.). **Longwood Herbal Task Force**, p. 1-32, 2001.
- CLELAND, C. F.; AJAMI, A.. Identification of the flower-inducing factor isolated from aphid honeydew as being salicylic acid. **Plant Physiology**, v. 54, n. 6, p. 904-906, 1974.
- CLEMENTE, F. M. V. T.; HABER, L. L. **Plantas Aromáticas e condimentares**: Uso aplicado na horticultura. Brasília: Embrapa hortaliças, 2013. 150p.
- CLIFTON, R et al. Stress-induced co-expression of alternative respiratory chain components in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Mol. Biol.** v. 58 p. 193-212, 2005.
- CONTI, B. et al. Essential oil composition and larvicidal activity of six Mediterranean aromatic plants against the mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). **Parasitol. Res.**, v. 107, p. 1455-1461, 2010.
- CORRÊA, R. M. et al. Crescimento de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de folhas de orégano sob malhas coloridas. *Global Science and Technology* 5: 11-2, 2012.
- CSISZÁR, J. et al. Exogenously applied salicylic acid maintains redox homeostasis in salt-stressed *Arabidopsis* gr1 mutants expressing cytosolic roGFP1. **Plant Growth Regulation**, p. 1-14, 2018.
- DA PORTO, C.; DECORTI, D.; KIKIC, I. Flavour compounds of *Lavandula angustifolia* L. to use in food manufacturing: Comparison of three different extraction methods. **Food Chemistry**, v. 112, p. 1072-1078, 2009.
- DE BOER, J. G.; POSTHUMUS, M. A.; DICKE, M.. Identification of volatiles that are used in discrimination between plants infested with prey or nonprey herbivores by a predatory mite. **Journal of chemical ecology**, v. 30, n. 11, p. 2215-2230, 2004.
- DEGANI, A. V. et al. Shade Effects on Leaf Production and Essential Oil Content and Composition of the Novel Herb *Eucalyptus citriodora* Hook. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 19, n. 2, p. 410-420, 2016.
- DIEZEL, C. et al. Different lepidopteran elicitors account for cross-talk in herbivory-induced phytohormone signaling. **Plant Physiology**, v. 150, n. 3, p. 1576-1586, 2009.
- DOB, T. et al. Chemical composition of the essential oil of *Lavandula dentata* L. from Algeria. **The International Journal of Aromatherapy**, v. 15, p. 110-114, 2005.
- DUDAREVA, N. et al. Plant volatiles: Recent advances and future perspectives. **Crit. Rev. Plant Sci.**, v. 25, p. 417- 440, 2006.
- DURRANT, W. E. et al. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 42, n. 1, p. 185-209, 2004.
- ESTRADA, K. R. Elicitation, an Effective Strategy for the Biotechnological Production of Bioactive High-Added Value Compounds in Plant Cell Factories. **Molecules**, Basel, v. 21, n. 2, p. 182, 2016.



FERRARI, S. Biological elicitors of plant secondary metabolites: Mode of action and use in the production of nutraceuticals. In: **Bio-Farms for Nutraceuticals**. Springer, Boston, MA, p. 152-166, 2010.

FROHNMEYER, H.; STAIGER, D. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. **Plant physiology**, v. 133, n. 4, p. 1420-1428, 2003.

GAD, M. M.; ABDUL-HAFEEZ, E. Y.; IBRAHIM, O. H. M. Foliar application of salicylic acid and gibberellic acid enhances growth and flowering of *Ixora coccinea* L. plants. **J. Plant Prod. Mansoura Univ.**, v. 7, p. 85-91, 2016.

GARCIA-BRUGGER, A. et al. Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. **Mol Plant Microbe Interact**, p. 19:711-724, 2006.

GHARIB, F. A. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. **Int. J. Agr. Biol**, v. 4, p. 485-492, 2006.

GHARBI, E. et al. Before or during the stress? Comparison between the impacts of two different modes of salicylic acid application on tomato (*Solanum lycopersicum*) responses to salinity. **Plant Signalling & Behavior**, 2018.

GHASEMZADEH, A et al. Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. **Journal of medicinal plants research**, v. 5, n. 31, p. 6697-6703, 2011.

GHASSEMI, S. et al. Improving essential oil content and yield of ajowan organs under water stress by application of salicylic acid and abscisic acid. **International Journal of Plant Production**, v. 11, n. 3, 2017.

GLAZEBROOK, J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. **Annu Rev Phytopathol**, 43 (1): 205–227, 2005.

GOBBO-NETTO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-81, 2007.

GONZÁLEZ-COLOMA, A. et al. Chemical and biological profiles of *Lavandula luisieri* essential oils from western Iberia Peninsula populations. **Biochem. Syst. Ecol.**, v. 39, p. 1-8, 2011.

GORNI, P. H. et al. Growth promotion and elicitor activity of salicylic acid on *Achillea millefolium* L. **African Journal of Biotechnology**, Kenya, v. 15, n. 16, p. 657-665, 2016.

GRAUSGRUBER-GRÖGER, S. et al. Seasonal influence on gene expression of monoterpene synthases in *Salvia officinalis* (Lamiaceae). **Journal of plant physiology**, v. 169, n. 4, p. 353-359, 2012.

GUITTON, Y. Diversité des composés terpéniques volatils au sein du genre *Lavandula*: aspects évolutifs et physiologiques. 2012. 255f. **Thèse (Doctorat en Sciences) - l'Université de Saint-Etienne** - Jean-Monnet, France, 2012.

HAAS, C. J. T. et al. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 33, n. 1, p. 63-68, 2015.

HASHMI, N. et al., Exogenous salicylic acid stimulates physiological and biochemical changes to improve growth, yield and active constituents of fennel essential oil. **Plant Growth Regulation**, v. 68, p. 281–291, 2012.

HAJHASHEMI, V.; GHANNADI, A.; SHARIF, B. Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. **Journal of ethnopharmacology**, v. 89, n. 1, p. 67-71, 2003.

HANAMANTHAGOUDA, M. S. et al. Essential oils of *Lavandula bipinnata* and their antimicrobial activities. **Food Chemistry**, v. 134, p. 1474–1478, 2012.

HASSIOTIS, C. N. et al. Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. **Industrial crops and products**, v. 62, p. 359-366, 2014.

HEIL, M.; TON, J.. Long-distance signalling in plant defence. **Trends in plant science**, v. 13, n. 6, p. 264-272, 2008.

HOWE, G. A. et al. New weapons and a rapid response against insect attack. **Plant Physiology**, v. 146, n. 3, p. 832-838, 2008.

HERNÁNDEZ-RUIZ, J.; ARNAO, M. Relationship of melatonin and salicylic acid in biotic/abiotic plant stress responses. **Agronomy**, v. 8, n. 4, p. 33, 2018.

IDREES, M. et al. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 5, n. 4, p. 293-303, 2010.

IMELOUANE, B. et al. Physico-Chemical Compositions and Antimicrobial Activity of Essential Oil of Eastern Moroccan *Lavandula dentata*. **International journal of agriculture & biology**, v. 11, n. 2, p. 113-118, 2009.

JAMES, D. G. Field evaluation of herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis*. **Journal of chemical ecology**, v. 29, n. 7, p. 1601-1609, 2003.

JAMES, D. G.; PRICE, T. S. Field-testing of methyl salicylate for recruitment and retention of beneficial insects in grapes and hops. **Journal of chemical ecology**, v. 30, n. 8, p. 1613-1628, 2004.

JIN, M. et al. Growth and accumulation of bioactive compounds in medicinal *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Chuju under different colored shade polyethylene. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 3, p. 398-404, 2012.

KASHANI, M. S. et al. Aqueous extract of lavender (*Lavandula angustifolia*) improves the spatial performance of a rat model of Alzheimer's disease. **Neurosci. Bull.**, v. 27, p. 99–106, 2011.

KHALIL, N. et al. Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed *Thymus vulgaris* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, p. 65-74, 2018.

KHAN, M. I. R. et al. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 462, 2015.

KIM, N. S.; LEE, S. D. Comparison of different extraction methods for the analysis of fragrances from *Lavandula* species by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 982, p. 31-47, 2002.

KLESSIG, D. F. et al. How does the multifaceted plant hormone salicylic acid combat disease in plants and are similar mechanisms utilized in humans?. **BMC biology**, v. 15, n. 1, p. 23, 2017.

KOHLI, S. K. et al. Role of Salicylic Acid in Heavy Metal Stress Tolerance: Insight into Underlying Mechanism. In: **Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone**. Springer, Singapore, p. 123-144, 2017.

KOVATCHEVA, A. G. et al. Antioxidant activity of extract from *Lavandula vera* M. in cell cultures. **Food Chemistry**, v. 72, p. 295- 300, 2001.

KUMAR, D.. Salicylic acid signaling in disease resistance. **Plant Science**, v. 228, p. 127-134, 2014.

LATIF, F. et al. Effects of salicylic acid on growth and accumulation of phenolics in *Zea mays* L. under drought stress. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 66, n. 4, p. 325-332, 2016.

LAWRENCE, B. M. Progress in essential oils, lavender oils. **Perf Flav**; v.18, n.1, p. 58-61, 1993.

LEE, T. T.; SKOOG, F. Effects of substituted phenols on bud formation and growth of tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 18, n. 2, p. 386-402, 1965.

LI, T. et al. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems. **PLOS one**, v. 9, n. 10, 2014.

LIMA, V. A. et al. Growth, photosynthetic pigments and production of essential oil of long-pepper under different light conditions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. AH-EAD, 2017.

LIS-BALCHIN, M. Lavender: the genus *Lavandula*. 1. Ed. New York: Taylor and Francis Inc., p. 268, 2002.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. Plantas Medicinais do Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa, SP: **Instituto Plantarum**, p. 512, 2002.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. Plantas ornamentais do Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, p. 1123, 2008.

LORETO, F.; SCHNITZLER, J. Abiotic stresses and induced BVOCs. **Trends in plant science**, v. 15, n. 3, p. 154-166, 2010.

LORTZING, V. et al. Insect egg deposition renders plant defense against hatching larvae more effective in a salicylic acid-dependent manner. **Plant, cell & environment**, 2018.

MAFFEI, M. E.; MITHÖFER, A.; BOLAND, W.. Insects feeding on plants: rapid signals and responses preceding the induction of phytochemical release. **Phytochemistry**, v. 68, n. 22-24, p. 2946-2959, 2007.

MALLINGER, R. E.; HOGG, D. B.; GRATTON, C.. Methyl salicylate attracts natural enemies and reduces populations of soybean aphids (Hemiptera: Aphididae) in soybean agroecosystems. **Journal of economic entomology**, v. 104, n. 1, p. 115-124, 2011.

MANDAL, S. et al. Salicylic acid-induced resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* in tomato. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 7, p. 642-649, 2009.

MANIVANNAN, A. et al. Chemical Elicitor-Induced Modulation of Antioxidant Metabolism and Enhancement of Secondary Metabolite Accumulation in Cell Suspension Cultures of *Scrophularia kakudensis* Franch Abinaya. **Internacional Journal of Molecular Sciences**, v. 17, p. 399, 2016.

MARTÍNEZ-MEDINA, A. et al. Shifting from priming of salicylic acid-to jasmonic acid-regulated defences by *Trichoderma* protects tomato against the root knot nematode *Meloidogyne incognita*. **New Phytologist**, v. 213, n. 3, p. 1363-1377, 2017.

MASETTO, M. A. M. et al. Teor e composição do óleo essencial de inflorescências e folhas de *Lavandula dentata* L. em diferentes estádios de desenvolvimento floral e épocas de colheita. **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

MENGUAL, C. et al. Microbial inoculants and organic amendment improves plant establishment and soil rehabilitation under semiarid conditions. **Journal of Environmental Management**, v. 134, p. 1-7, 2014.

MSAADA, K. et al. Essential oil composition of *Lavandula dentata*, L. *stoechas* and L. *multifida* cultivated in Tunisia. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 15, n. 6, p. 1030-1039, 2012.

MIRZAJANI, Z.; HADAVI, E.; KASHI, A. Changes in the essential oil content and selected traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as induced by foliar sprays of citric acid and salicylic acid. **Industrial crops and products**, v. 76, p. 269-274, 2015.

MUTLU, S. et al. Exogenous salicylic acid alleviates cold damage by regulating antioxidative system in two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. **Frontiers in Life Science**, v. 9, n. 2, p. 99-109, 2016.

NASCIMENTO, L. et al. Increased antioxidant activity and changes in phenolic profile of *Kalanchoe pinnata* (Lamarck) Persoon (Crassulaceae) specimens grown under supplemental blue light. **Photochemistry and photobiology**, v. 89, n. 2, p. 391-399, 2013.

NASIRI, Y.; ZANDI, H.; MORSHEDLOO, M. R. Effect of Salicylic Acid and Ascorbic Acid on Essential oil Content and Composition of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) under Organic Farming. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, p. 1-12, 2018.

NAZAR, R. et al. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. **South African Journal of Botany**, v. 98, p. 84-94, 2015.

- NAZAR, R.; IQBAL, N.; UMAR, S. Heat Stress Tolerance in Plants: Action of Salicylic Acid. In: **Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone**. Springer, Singapore, p. 145-161, 2017.
- NOREEN, S.; ASHRAF, M. Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. **Pak. J. Bot**, v. 40, n. 4, p. 1657-1663, 2008.
- NOREEN, S. et al. Enhancement of physio-biochemical parameters of wheat through exogenous application of salicylic acid under drought stress. **J. Anim. Plant Sci**, v. 27, p. 153-163, 2017.
- NORMAN, C. et al. Salicylic acid is an uncoupler and inhibitor of mitochondrial electron transport. **Plant Physiol**. v.134, p. 492-501, 2004.
- NUHSE, T.S. et al. A plasma membrane syntaxin is phosphorylated in response to the bacterial elicitor flagellin. **J Biol Chem**, p. 278, 2003.
- OKSMAN-CALDENTEY, K.; INZE, D. Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites – Review. **TRENDS in Plant Science**, v.9, n. 9, 2004.
- OLIVEIRA, G. C. et al. Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. **Chilean journal of agricultural research**, v. 76, n. 1, p. 123-128, 2016.
- OREN-SHAMIR, M. et al. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 76, n. 3, p. 353-361, 2001.
- OZAWA, R. et al. *Lotus japonicus* infested with herbivorous mites emits volatile compounds that attract predatory mites. **Journal of Plant Research**, v. 113, n. 4, p. 427-433, 2000.
- PACHECO, F. V. et al. Desempenho ecofisiológico e análise de compostos secundários de plantas de *Piper aduncum* sob efeito da radiação – Lavras: UFLA, 2014. 152 p.: il. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
- PACHECO, F. V. et al. Essential oil of monkey-pepper (*Piper aduncum* L.) cultivated under different light environments. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 251-257, 2016.
- PARK, S. et al. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance. **Science**, v. 318, n. 5847, p. 113-116, 2007.
- PATT, J. M. et al. Exogenous application of the plant signalers methyl jasmonate and salicylic acid induces changes in volatile emissions from citrus foliage and influences the aggregation behavior of Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri*), vector of Huanglongbing. **PloS one**, v. 13, n. 3, p. e0193724, 2018.
- PEANA, A. T. et al. Anti-inflammatory activity of linalool and linalyl acetate constituents of essential oils. **Phytomedicine**, v. 9, n. 8, p. 721-726, 2002.
- PIRBALOUTI, A. G. et al. Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. **Plant growth regulation**, v. 72, n. 3, p. 289-301, 2014.

- QADOS, A. M. S. A. Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (*Capsicum annuum* L) plants grown under salt stress conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 8, n. 2, p. 107, 2015.
- RADMAN, R. et al. Elicitation of plants and microbial cell systems. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 91-102, 2003.
- RAHMAT, A. et al. Accumulation and partitioning of total phenols in two varieties of *Labisia pumila* Benth. under manipulation of greenhouse irradiance. In: **International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions 797**. p. 387-392, 2008.
- RASKIN, I. Salicylate, a new plant hormone. **Plant Physiol.** v. 99, p. 799–803, 1992.
- RIBEIRO, AURISLAINE S. et al. Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of *Pogostemon cablin*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, p. 0-0, 2018.
- ROWSHAN, V. et al. Effects of salicylic acid on quality and quantity of essential oil components in *Salvia macrosiphon*. **J. Biol. Environ. Sci**, v. 4, n. 11, p. 77-82, 2010.
- SAID-AL A. H. L. et al, Mona H. Salicylic acid improves growth and essential oil accumulation in two *Nepeta cataria* chemotypes under water stress conditions. **Italian journal of agrometeorology-rivista italiana di agrometeorologia**, v. 21, n. 1, p. 25-36, 2016.
- SEIGLER, D. S. **Plant secondary metabolism**. Springer Science & Business Media, 2012.
- SHARMA, P. et al. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, 2012.
- SHARMA, M. et al. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress. **Journal of proteomics**, v. 163, p. 28-51, 2017.
- SHI, Q. et al. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. **Plant growth regulation**, v. 48, n. 2, p. 127-135, 2006.
- SHI, X. et al. The salicylic acid-mediated release of plant volatiles affects the host choice of *Bemisia tabaci*. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 7, p. 1048, 2016.
- SIENKIEWICZ, M. et al. Antibacterial activity of thyme and lavender essential oils. **Medicinal Chemistry**, v.7, p. 674- 689, 2011.
- SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, setembro, 2016
- ŚMIGIELSKI, K. et al. Comparison of qualitative and quantitative chemical composition of hydrolate and essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*). **J Ess Oil Res**, v.25, n. 4, p. 291-299, 2013.
- SMITH, H. Light quality, photoperception, and plant strategy. **Annual review of plant physiology**, v. 33, n. 1, p. 481-518, 1982.

- SOLTANI, R. et al. Evaluation of the effect of aromatherapy with lavender essential oil on post-tonsillectomy pain in pediatric patients: A randomized controlled trial. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 77, p. 1579-1581, 2013.
- SOUZA, G S de et al. Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker cultivadas sob malthas coloridas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-14, 2011.
- SOUZA, G S et al. Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de plantas de alecrim cultivadas sob telas coloridas. **Enciclopédia biosfera**, v.30, p. 232-239, 2014.
- SUDRIÁ, C. et al. Influence of plant growth regulators on the growth and essential oil content of cultured *Lavandula dentata* plantlets. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 58, p. 177-184, 1999.
- TAFUYA, F. A. et al. Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. **Ciência Rural**, v. 48, n. 9, 2018.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 917, 2013.
- THEIS, J. G. W.; KOREN, G. Camphorated oil: Still endangering the lives of Canadian children. *Can. Med. Assoc. J.*, v. 152, p. 1821-1824, 1995.
- THINES, N. J. et al. Effects of enhanced UV-B radiation on plant chemistry: nutritional consequences for a specialist and generalist lagomorph. **Journal of chemical ecology**, v. 33, n. 5, p. 1025-1039, 2007.
- TOUATI, B. et al. Chemical Composition of the Leaf and Flower Essential Oils of Tunisian *Lavandula dentata* L. (Lamiaceae). **Chemistry & Biodiversity**, v.8, p. 1560- 1569, 2011.
- UPSON, T.; ANDREWS, S. The genus *Lavandula*. 1a. Ed. **USA: Timber Press inc.**, p. 442, 2004.
- VERMA, R. S.; PADALIA, R. C.; CHAUHAN, A. Harvesting season and plant part dependent variations in the essential oil composition of *Salvia officinalis* L. grown in northern India. **Journal of Herbal Medicine**, v. 5, n. 3, p. 165-171, 2015.
- VLOT A.C. et al. Salicylic acid, amultifaceted hormone to combat disease. **Ann. Rev. Phytopathol.** v. 47, p. 177–206, 2009.
- WADA, K. C. et al. Stress enhances the gene expression and enzyme activity of phenylalanine ammonia-lyase and the endogenous content of salicylic acid to induce flowering in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of plant physiology**, v. 171, n. 11, p. 895-902, 2014.
- WANG, F. et al. Comparative transcriptional profiling of *Gracilaria lemaneiformis* in response to salicylic acid-and methyl jasmonate-mediated heat resistance. **PloS one**, v. 12, n. 5, p. e0176531, 2017.
- WILDERMUTH, M. C. et al. Isochorismate synthase isrequired to synthesize salicylic acid for plant defence. **Nature**, p. 414:562–5, 2001.
- YOUSSEF, R. A. et al. Effect of Salicylic Acid On Growth, Yield, Nutritional Status and Physiological Properties of Sunflower Plant Under Salinity Stress. **INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICAL AND PHYTOPHARMACOLOGICAL RESEARCH**, v. 7, n. 5, p. 54-58, 2017.

YUSUFOGLU, A. et al. Utilization of *Lavandula angustifolia* Miller extracts as natural repellents, pharmaceutical and industrial auxiliaries. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 69, n. 1, p. 1-7, 2004.

ZHANG, Y. et al. Salicylic acid alleviates cadmium-induced inhibition of growth and photosynthesis through upregulating antioxidant defense system in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.). **Protoplasma**, v. 252, n. 3, p. 911-924, 2015.