

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ADUBAÇÃO
FOSFATADA EM PLANTAS DE LAVANDA (*Lavandula dentata* L.)

QUÊNIA GLÓRIA FERREIRA GANDINE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO – 2020

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ADUBAÇÃO
FOSFATADA EM PLANTAS DE LAVANDA (*Lavandula dentata* L.)

QUÊNIA GLÓRIA FERREIRA GANDINE

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Marco Antonio Martins

CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ
MAIO – 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

G195

Gandine, Quênia Glória Ferreira.

Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em plantas de lavanda (*Lavandula dentata* L.) / Quênia Glória Ferreira Gandine. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

58 f. : il.

Bibliografia: 38 - 53.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2020.
Orientador: Marco Antonio Martins.

1. Lavanda. 2. Micorriza. 3. Óleos essenciais. 4. Fósforo. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ADUBAÇÃO
FOSFATADA EM PLANTAS DE LAVANDA (*Lavandula dentata* L.)

QUÊNIA GLÓRIA FERREIRA GANDINE

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 20 de maio de 2020

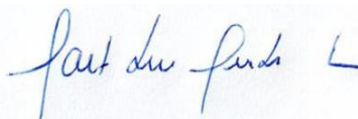
Comissão Examinadora



Prof.^a Adriane Nunes de Souza (Ph.D., Ciências) – Universo



Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Prof.^a Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Nutrição de Plantas) – UENF



Prof. Marco Antonio Martins (Ph.D., Microbiologia do Solo) – UENF
(Orientador)

A Deus;

A minha amada Vó Glorinha (*In memoriam*);

A minha querida Mãe,

A minha princesinha, Sofia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por Seu amor e cuidado, por me dar forças para concluir mais esta etapa em minha vida. Foram inúmeras as provas, mas Ele sempre esteve comigo.

A minha amada mãe, principal incentivadora, minha base, agradeço por não ter poupado esforços para me ajudar a amenizar os percalços encontrados neste percurso.

Ao meu marido, Pharley, pois seu valioso apoio foi um suporte indispensável para a concretização deste mestrado, obrigada por compreender minha ausência, e por permanecer ao meu lado.

A minha querida sogra, Rita, e meu cunhado Phelipe, meu sincero agradecimento por todo apoio.

A minha família e irmãos em Cristo, pois estiveram na torcida por mim, orando a Deus em favor da minha vida.

Ao professor Marco Antonio, pela oportunidade, por me receber no programa da pós, como orientanda, agradeço sua confiança, paciência e apoio.

À professora Marta, que aceitou generosamente me orientar, agradeço por seu profissionalismo, compreensão e empatia. Nossas conversas, não só trouxeram enriquecimento acadêmico, mas também de vida.

Muito obrigada aos amigos do LSOL, Renata e Jorge, pela boa convivência, pelas boas conversas e carinho. Agradeço especialmente ao Dr.

Peniche, pela boa vontade, e disposição em ajudar com o experimento. Vocês têm minha admiração e amizade.

Agradeço à técnica Andréia, que foi sempre precisa e eficiente nas análises realizadas, e nas “horas extras” foi conselheira e amiga.

Ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pelo apoio nas análises, ao Sr. Acácio, e principalmente ao doutorando Diego Peçanha, que pacientemente me instruiu desde o início da implementação do experimento.

A minha amada irmã, Amanda, por pacientemente estar de prontidão para meus desabafos, instruindo e aconselhando, sendo uma verdadeira amiga, muito obrigada por tudo.

À Renata de Deus, por ser ótima amiga e companheira, na jornada acadêmica e na vida.

A minha querida amiga Bianca, pelos cafés compartilhados, por me apresentar o verdadeiro cuscuz, pelos momentos de descontração que trouxeram muita leveza durante este período.

À UENF, não só pela oportunidade de cursar o mestrado, mas por propiciar um ambiente viável para o desenvolvimento da pesquisa e acolhedor para as vivências e relações humanas, onde conquistei muitas amizades.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Lavandula dentata L.....	3
2.2 Óleos essenciais de Lavandula dentata L.....	5
2.3 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)	8
2.4 Adubação fosfatada	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Localização e delineamento experimental.....	14
3.2 Preparo do substrato	15
3.3 Preparo dos inóculos de FMAs	16
3.4 Produção e inoculação das mudas	16
3.5 Análise dos parâmetros de crescimento.....	17
3.6 Análises nutricionais.....	18
3.7 Avaliação da porcentagem de colonização micorrízica	18
3.8 Extração do óleo essencial.....	19
3.9 Análises estatísticas	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Porcentagem de colonização micorrízica	21

4.2	Parâmetros de crescimento.....	24
4.3	Conteúdo dos macronutrientes	30
4.4	Teor e conteúdo de óleos essenciais de lavanda.....	32
5.	RESUMO E CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
	APÊNDICE.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas do substrato utilizado no experimento.....	15
Tabela 2: Porcentagem de colonização micorrízica (PCM) em raízes de lavanda, em função dos FMAs e adubação fosfatada, 120 dias após replantio	22
Tabela 3: Altura de plantas, em cm, de lavanda em função da inoculação com FMAs e de doses de P no substrato, aos 120 dias após replantio.....	24
Tabela 4: Massa da matéria fresca da parte aérea (MFPA), em g, de plantas de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada.....	26
Tabela 5: Massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), em g, de plantas de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada.....	26
Tabela 6: Massa da matéria seca da raiz (MSR), em g, de plantas de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada	29
Tabela 7: Massa da matéria fresca das Inflorescências (MFI), em g, de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada	29
Tabela 8: Conteúdo de macronutrientes, em mg planta ⁻¹ , de lavanda em função dos FMAs e adubação fosfatada, aos 120 dias após replantio	31
Tabela 9: Teor e conteúdo de óleo essencial de lavanda em função dos FMAs e adubação fosfatada.....	33

RESUMO

GANDINE, Quênia Glória Ferreira. M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; maio de 2020. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em plantas de lavanda (*Lavandula dentata* L.). Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Martins. Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Marta Simone Mendonça Freitas.

A *Lavandula dentata* L. (Lamiaceae) é amplamente cultivada para fins aromaterapêuticos, fitoterapêuticos, paisagismo e culinário. Seus óleos essenciais possuem propriedades antifúngicas, pesticidas e antibacteriana, com um perfil químico de altos teores de 1,8-cineol e cânfora. A composição dos óleos essenciais é determinada principalmente pelo genótipo da planta, porém, as condições edafoclimáticas e de crescimento podem influenciar na produção de seus compostos. Acredita-se que os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), por causarem modificações no metabolismo da planta hospedeira, também possam influenciar diretamente sobre a biossíntese e qualidade dos óleos essenciais. Diante do exposto, conduziu-se um experimento para avaliar os efeitos de duas espécies de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento, composição mineral e produção de óleos essenciais de *Lavandula dentata* L., cultivada na presença e ausência de fósforo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ. Adotou-se delineamento em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 2x3, duas doses de fósforo (0 e 60 mg dm⁻³) e três tratamentos fúngicos: *Rhizophagus clarus* (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) C. Walker & A. Schüssler; *Claroideoglobus etunicatum* (W. N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler; e o controle (sem inóculo fúngico). Foram realizadas

quatro repetições, e cada parcela experimental foi composta por três vasos plásticos, com capacidade de 3 dm³, contendo uma planta por vaso. As mudas de *L. dentata* foram produzidas via estaquia. A coleta das plantas ocorreu 120 dias após o plantio. Foram realizadas análises biométricas e quantificação da biomassa da parte aérea e raiz, análise dos nutrientes minerais na parte aérea, avaliação da porcentagem de colonização micorrízica, e teores de óleos essenciais. Os resultados demonstram que as plantas inoculadas com a espécie micorrízica *R. clarus* obtiveram maior porcentagem de colonização micorrízica na ausência de adubação fosfatada, o que proporcionou maior produtividade em todas as variáveis de crescimento, quando comparada ao controle, além de aumentar os conteúdos dos macronutrientes na massa da matéria seca da parte aérea das plantas. Verificou-se que, ao acrescentar 60 mg dm⁻³ de P à espécie *R. clarus*, houve incrementos nos teores de óleos essenciais nas plantas de *Lavandula dentata*.

ABSTRACT

GANDINE, Quênia Glória Ferreira. M.Sc., State University of North Fluminense Darcy Ribeiro; May 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate fertilization in lavender plants (*Lavandula dentata* L.). Advisor: Marco Antonio Martins. Co-supervisor: Marta Simone Mendonça Freitas.

Lavandula dentata L. (Lamiaceae) is widely cultivated for aromatherapy, phytotherapeutic, landscape and culinary purposes. Its essential oils have antifungal, pesticidal and antibacterial properties, with a chemical profile of high levels of 1,8-cineol and camphor. The composition of essential oils is mainly determined by the genotype of the plant, however, the edaphoclimatic and growth conditions can influence the production of its compounds. It is believed that arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs), because they cause changes in the metabolism of the host plant, can also directly influence the biosynthesis and quality of essential oils. In view of the above, an experiment was conducted to evaluate the effects of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral composition and essential oil production of *Lavandula dentata* L., grown in the presence and absence of phosphorus. The experiment was carried out in a greenhouse at the Universidad Stadial of North Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ. A randomized block design (DBC), in a 2x3 factorial arrangement, two doses of phosphorus (0 and 60 mg dm⁻³) and three fungal treatments were adopted: *Rhizophagus clarus* (TH Nicolson & NC Schenck) C. Walker & A. Schüssler; *Claroideoglomus etunicatum* (W. N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler; and control (without fungal inoculum). Four replications were performed, and each experimental plot was composed of three plastic pots, with a capacity of 3 dm⁻³, containing one plant per pot. *L. dentata* seedlings were

produced via cuttings. Plant collection took place 120 days after planting. Biometric analyzes and quantification of the aerial and root biomass, analysis of the mineral nutrients in the aerial part, evaluation of the percentage of mycorrhizal colonization, and contents of essential oils were performed. The results show that plants inoculated with the mycorrhizal species *R. clarus* obtained a higher percentage of mycorrhizal colonization in the absence of phosphate fertilization, which provided greater productivity in all growth variables, when compared to control, in addition to increasing the contents of macronutrients, in the dry matter mass of the aerial part of the plants. It was found that, by adding 60 mg dm⁻³ of P to the species *R. clarus*, there were increases in the levels of essential oils in *Lavandula dentata* plants.

1. INTRODUÇÃO

A lavanda é uma espécie aromática com cultivo comercial difundido em muitos países europeus, onde representa grande importância econômica. A extração do óleo essencial é uma atividade que gera produto de grande valor comercial. Estima-se que o mercado mundial de óleo essencial de lavanda seja de aproximadamente 200 mil toneladas anuais (Basílio, 2019).

Os óleos essenciais da lavanda são empregados em diversos ramos de produção, como: cosméticos (sabonetes, perfumes, cremes); composição de produtos de limpeza; gastronomia e produção de mel de qualidade; além de produtos aromaterapêuticos, farmacêuticos e medicinais. Sua ampla difusão ocorre em razão de os óleos essenciais da lavanda apresentarem efeitos terapêuticos, como atividade sedativa, relaxante muscular, analgésico, expectorante, antidepressivo, entre outros.

A produção de óleos essenciais da lavanda ainda se encontra em fase introdutória no Brasil, concentrando a produção comercial nas regiões sul e sudeste do país. Grande parte da área plantada em território nacional é destinada a fins paisagísticos, jardins sensoriais ou voltados ao ecoturismo.

A *Lavandula dentata* juntamente com a *L. angustifolia* encontra-se entre as cultivares mais utilizadas, pois estas espécies vêm apresentando boa adaptabilidade ao clima, o que tem proporcionado bom desenvolvimento do cultivo. Sendo assim, a produção de óleos essenciais, principalmente de lavanda, não é somente uma atividade viável, mas muito rentável, uma vez que a maior

parte da demanda dos óleos essenciais do país, incluindo o de lavanda, é suprida por meio de importação.

A espécie *L. dentata* L. possui um perfil químico típico e algumas moléculas que lhe conferem características únicas. Tais aspectos determinam o aroma e as propriedades dos óleos essenciais, como alto teor de 1,8-cineol e cânfora, o que acarreta a essa espécie menor interesse das perfumarias, devido aos níveis indesejáveis de cânfora, sendo, assim, usado preferencialmente como antisséptico, antifúngico e agente antibacteriano (Woronuk et al., 2010; Demissie et al., 2011).

A composição dos óleos essenciais é determinada principalmente pelo genótipo da planta, porém, as condições ambientais e de crescimento influenciam significativamente na produção de seus compostos (Demissie et al., 2011; Sellami et al., 2009). Outros fatores, como condições edafoclimáticas, fisiológicos, estágio de desenvolvimento e época de colheita (Sales, 2015), e a presença de microorganismos (Silva et al., 2017), também podem afetar o teor e a composição dos óleos essenciais.

Os efeitos benéficos dos FMAs têm sido demonstrados em variadas condições e espécies vegetais, como, por exemplo, o estímulo do crescimento vegetal como uma consequência do seu impacto na nutrição mineral da planta, principalmente no aumento da absorção de fósforo (Tarraf et al., 2017). Os óleos essenciais são derivados da rota biossintética do acetato (Mann, 2001), e essa rota requer fósforo inorgânico para compor a unidade básica o isopreno ativo IPP (isopentenil pirofosfato). O fósforo também é importante para a formação do MEP (metileritritol fosfato), que seria outra rota de formação dos óleos essenciais. Alguns pesquisadores demonstraram que não só a inoculação com FMAs (Silva et al., 2012; Zeng et al., 2013), mas também a adubação fosfatada (Freitas et al., 2004; Ramezani et al., 2009; Chrysargyris et al., 2016; Erbas et al., 2017), proporcionam alterações quantitativa e qualitativa nos óleos essenciais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de duas espécies de FMAs no crescimento, composição mineral e produção de óleos essenciais de *Lavandula dentata* L., cultivada na presença e ausência de fósforo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Lavandula dentata* L.

A família Lamiaceae possui grande representatividade na natureza, são cerca de 7.000 espécies nativas, principalmente na região do Mediterrâneo. No Brasil, essa família é representada por aproximadamente 500 espécies, das quais, muitas são cultivadas como culturas aromáticas, medicinais, ornamentais e alimentares (Mariutti e Bragagnolo, 2007; Oliveira et al., 2016).

Economicamente, a Lamiaceae é uma das famílias mais importantes da área medicinal, pois muitas espécies desta família possuem substâncias com atividade (Mariutti e Bragagnollo, 2007; Oliveira et al., 2016) antioxidante, anti-inflamatória (Oliveira, 2017), efeitos hipnóticos-sedativos e antipsicóticos (Figueiredo et al., 2019), antimicrobianas (Andrade et al., 2017), antifúngicas (Ferreira et al., 2019), antitumorais e quimio-preventivas (Agostini et al., 2009; Rehan, 2014; Silva et al., 2016).

A lavanda pertence ao gênero *Lavandula* (Lamiaceae), é endêmica na região do Mediterrâneo, na Península Arábica, nas Ilhas Canárias e na Índia. São subarbustos perenes, aromáticos, eretos, muito ramificados na base, de coloração verde-acinzentada, medindo de 30 a 70 cm de altura, as flores possuem tons de azul, mas também podem apresentar ocorrências de violeta a branco (Upson e Andrews, 2004).

Upson e Andrews (2004) descreveram mais de trinta espécies de *Lavandula*, vários híbridos e cerca de 400 variedades, dentre elas, muitas são

cultivadas mundialmente para fins terapêuticos, por suas propriedades aromáticas, medicinais e ornamentais. Entre as espécies mais comuns de lavanda encontram-se: *L. angustifolia*, *L. stoechas*, *L. latifolia*, *L. spica* e *L. dentata*

As lavandas geralmente florescem após o período de inverno, pois necessitam de um período frio para seu florescimento. McNaughton (2006) recomenda que as inflorescências devem ser colhidas em plena floração, cortando-as logo acima do último par de folhas e início do pedúnculo floral, quando as flores do ápice estiverem abertas ou, quando as duas primeiras flores da espiga se abrirem, ou ainda, quando um quarto a um terço das flores na espiga estiverem abertas.

Beltrame et al. (2019) consideram que poucas espécies de lavandas foram estudadas utilizando FMAs. Apesar disso, as lavandas são descritas como plantas que formam micorrizas arbusculares, e dependentes-micorrizas (Azcón e Barea, 1997), mas que também são conhecidas por apresentar atividade estimulada da fosfatase radicular em condições de baixa oferta de nutrientes. Essas informações corroboram a grande adaptabilidade das lavandas a solos pobres e rochosos, sendo suas principais características, a rusticidade e a resistência à seca, se estabelecendo até mesmo em solos de baixa fertilidade.

A espécie *L. dentata*, também conhecida como lavanda francesa, é uma planta perene, possui folhas e flores aromáticas, sendo originária da região do Mediterrâneo na Europa. É uma espécie cultivada mundialmente, muito utilizada na aromaterapia e na fitoterapia, devido, principalmente às suas propriedades terapêuticas, sendo utilizada também no paisagismo e na culinária (Biasi e Deschamps, 2009) e, principalmente, para fins de extração de óleo essencial (Figueiredo e Morais, 2019).

McNaughton (2006) relatam que a *L. dentata* tem se adaptado a condições semelhante às tropicais, o que torna possível cultivá-la em solos argilosos com altitudes acima de 1000 m, observando-se o requisito de boa drenagem deste solo e o pH acima de 6,0. Ela também tem sido cultivada em condições de elevada temperatura e umidade do solo, na África do Sul e América do Sul (Biasi e Deschamps, 2009). Silva (2015) relata que as lavandas necessitam de pH entre 5,8 e 8,3. Segundo Dais (2009), o cultivo de lavanda

francesa na Inglaterra tem se desenvolvido bem em solos alcalinos, com pH acima de 8 ou 9, enquanto outras variedades exigem solos mais ácidos.

Segundo Masetto et al. (2011), a espécie *L. dentata* tem apresentado bom desenvolvimento nas condições brasileiras, e a avaliação de fatores relacionados à produção de óleos essenciais pode contribuir para a adoção de práticas adequadas ao seu cultivo. Entretanto, Adamuchio (2015) cita que poucos são os relatos sobre o cultivo de lavandas no Brasil, enfatizando ainda que alguns desses estudos estão relacionados ao turismo, por conta do potencial ornamental da espécie. Mambri (2016) relata que a produção de plantas aromáticas no Brasil, quando em regiões de economia baseada em minifúndios, pode gerar fonte de renda extra com a produção de óleo, funcionando também como atração agroturística.

Figueiredo e Moraes (2019) ressaltam que a introdução da *L. dentata* tornou-se viável no Brasil, inclusive para fins comerciais, devido ao clima tropical da qual é originária. Segundo Adamuchio (2015), as espécies *L. dentata* e *L. stoechas* são frequentemente encontradas em jardins e floriculturas na região Sul e Sudeste do Brasil, mas sendo usadas para fins ornamentais. Entretanto, Silva (2015) confirma ser possível obter produtividade significativa dessa espécie no país, por meio de tecnologia e inovação de cultivo, ampliando seu potencial econômico.

Adamuchio et al. (2017) consideram as regiões Sul e Sudeste do Brasil ideais para o cultivo das espécies de lavanda, pois geralmente apresentam clima temperado e altitude acima de 1.000. Mas é importante salientar que, para se estabelecer um cultivo comercial, é preciso reter conhecimento além dos fatores climáticos, incluindo parâmetros como solo, adubação, podas, época de colheita, secagem, armazenagem, método de extração de óleos essenciais. Além disso, também é importante escolher a espécie ou variedade mais adaptada para cada região.

2.2 Óleos essenciais de *Lavandula dentata* L.

Por muito tempo os óleos essenciais foram considerados meros catabólitos do metabolismo vegetal. Atualmente, sabe-se que os óleos essenciais desempenham funções ecofisiológicas de extrema importância, que ao longo do

tempo foram determinantes na evolução das espécies aromáticas (Sales, 2015).

Os óleos essenciais são misturas de substâncias voláteis e lipofílicas, geralmente líquidas, de aparência oleosa à temperatura ambiente, possuem aroma agradável e intenso, são geralmente incolores, ou levemente amarelados e instáveis, principalmente na presença de ar, calor, luz e umidade (Simões e Spitzer, 2001; Simões et al., 2010).

Seus constituintes variam entre hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples e terpênicos, aldeídos, fenóis, cetonas, furanos, éteres, ésteres, óxidos, peróxidos, ácidos orgânicos, cumarinas, lactonas e até compostos com enxofre, suas concentrações são variadas, possuindo, normalmente, um composto majoritário (Simões et al., 2010).

Os terpenos são os principais constituintes de óleos essenciais de muitas espécies aromáticas e medicinais. São compostos orgânicos responsáveis pelo sabor e aroma das plantas, encontrados em grande parte das espécies vegetais, e dizem muito sobre a interação e sobrevivência da planta no ambiente. Muitos fatores, incluindo o clima, o nível de altitude, a adubação, a luminosidade, o tipo de solo e a hora do dia, ou seja, fatores bióticos e abióticos, interferem no desenvolvimento dos terpenos.

A Lamiaceae está entre as famílias que mais despertam interesse no estudo dos metabólitos secundários, devido à presença de componentes químicos, como alcaloides, flavonoides, terpenos, cumarinas, lignoides e os óleos essenciais (Ferreira et al., 2019). Ela também desperta interesse econômico, devido à possibilidade de exploração das espécies aromáticas para a extração de óleos essenciais, amplamente utilizados na produção de fármacos, perfumes e cosméticos (Agostini et al., 2009; Rehan, 2014).

Na indústria alimentícia, as substâncias antioxidantes da família Lamiaceae são utilizadas em produtos que atuam como conservantes para aumentar a vida útil dos alimentos, evitando a ligeira degradação térmica de óleos vegetais e outros produtos ricos em gordura, em razão do alto nível de compostos fenólicos, como o ácido rosmarínico e o ácido cafeico (Mariutti e Bragagnolo, 2007; Pitaro et al., 2012).

As lavandas sintetizam e acumulam óleos essenciais nas glândulas localizadas em abundância na superfície do cálice, e em menor extensão nas folhas. Os compostos derivados do metabolismo secundário destas plantas, onde

estão os apêndices epidérmicos especializados denominados tricomas glandulares, são constituídos principalmente por monoterpenos e sesquiterpenos, que são sintetizados no cloroplasto e no citosol, respectivamente (Butnariu e Sarac, 2018; Martins, 2002; Damião Filho, 1993; Suga e Endo, 1991).

Segundo Silveira et al. (2012), a extração dos óleos essenciais de lavanda é feita por destilação a vapor, a partir de ramos floridos, onde o óleo encontra-se em concentrações máximas. Por recomendação de Biasi e Deschamps (2009), a colheita deve ser realizada nas primeiras horas da manhã, momento em que se obtém maior concentração de óleos essenciais. Os autores ressaltam que a colheita tardia se torna um fator prejudicial à produção de óleo essencial, pois à medida que ocorre a fecundação das flores, o teor de óleo diminui.

Muitas espécies do gênero *Lavandula* foram estudadas do ponto de vista químico, biológico e farmacológico (Gilani et al., 2000; An e Hatfield, 2001; Cavanagh e Wilkinson, 2002; Nogueira e Romano, 2002; Imelouane et al., 2009). As atividades espasmolíticas, bem como as antioxidantes, foram relatadas também para o extrato alcoólico da planta (Hudaib et al., 2002). Atividades antifúngicas, pesticidas e antibacterianas do óleo essencial de *L. dentata* foram demonstradas pelos pesquisadores Daferera et al. (2000) e Bagamboula et al. (2004).

Dob et al. (2005), trabalhando com a espécie de *L. dentata*, quantificaram seus principais compostos, sendo encontrados: monoterpenos oxigenados (68,6%), seguido dos monoterpenos hidrocarbonados (2,7%), sesquiterpenos oxigenados (2,6%) e sesquiterpenos hidrocarbonados (2,6%). A maior parte dos constituintes químicos presentes na espécie é produzida como moléculas sinalizadoras, tóxicas para micro-organismos e insetos, ou ainda como repelentes (Figueiredo e Morais, 2019).

Dentre os compostos presentes na espécie *L. dentata* se destacam: linalol, acetato de linalina, 1,8-cineol, fenchona, β -ocimeno, terpinem-4-ol e cânfora (Flores et al., 2005). Bienvenu (2009) descreve os compostos majoritários das três espécies mais plantadas de lavanda, onde a *L. dentata* apresenta 20-30% de cânfora e 30-45% de 1,8-cineol; enquanto a *L. angustifolia* apresenta 1-2% de β -ocimeno, 1-2% de linalol e <1% de acetato de linalina.

A composição química dos óleos essenciais de *L. dentata* apresenta alto teor de 1,8-cineol e cânfora, podendo atingir até 50% de sua composição total. Essa característica acarreta menor interesse das perfumarias, devido aos níveis indesejáveis de cânfora. Entretanto, estas características são positivas quando utilizadas como propriedades medicinais e terapêuticas, sendo usado preferencialmente como antisséptico, antifúngico, antiespasmódico, anestésico local e bactericida (Moon *et al.*, 2006, Woronuk *et al.*, 2010).

A cânfora é um monoterpeneo que possui cheiro forte e penetrante, gosto amargo. Ela é ligeiramente fria ao tato, tem ação contra gripes, resfriados, inflamações, e também é usada na fabricação de nitrocelulose, materiais plásticos, produtos químicos e repelentes para insetos (Yoneda *et al.*, 2007). Segundo Machado *et al.* (2013), quando encontrada, a cânfora é um composto de apreciação do óleo essencial.

Silva (2015) menciona que os óleos essenciais destinados à indústria farmacêutica, necessariamente devem apresentar maior proporção de monoterpeneos, pois apresentam maior atividade biológica. Concordando com Silva (2015), Flores *et al.* (2019) atribuem o valor comercial dos óleos essenciais principalmente à presença de monoterpeneos.

Martins (2018), trabalhando com a caracterização química de óleos essenciais de *L. dentata*, constatou que os monoterpeneos oxigenados 1,8-cineol, fenchona e cânfora, foram majoritários no seu perfil cromatográfico, com as seguintes concentrações: 46,3%, 15,8% e 15,0%, respectivamente. Figueiredo e Moraes (2019) observaram resultados semelhantes dos constituintes dos óleos essenciais dessa espécie, e afirmam que os teores obtidos estão de acordo com padrões geralmente encontrados nas extrações de óleo essencial da planta, em condições do clima brasileiro.

2.3 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)

Atualmente as associações planta-fungo são classificadas em sete tipos, são eles: arbuscular, ectomicorrizas, ectoendomycorrizas, ericóides, arbutóides, orquídeas e monotropoides, referentes ao tipo de fungo envolvido e à variedade de estruturas resultantes dessa associação (Hodge, 2000).

Os fungos micorrízicos arbusculares formam redes subterrâneas de hifas filamentosas, são biotróficos obrigatórios, e responsáveis pela associação mutualista simbiótica mais difundida na natureza (Jakobsen e Hammer, 2015), com cerca de 80% das plantas formado essa associação (INVAM, 2019). Monte-Júnior (2017) descreve a penetração inter e intracelularmente da hifa do fungo na região do córtex radicular, como uma característica desta associação que visivelmente não altera a morfologia da planta.

As hifas dos fungos micorrízicos são eficientes na aquisição e no transporte de fósforo do solo até as raízes (Smith e Read, 2008), principalmente, em condições de baixa disponibilidade de P, situação da maioria dos solos brasileiros (Berbara et al., 2006). Segundo Ji e Bever (2016), o fungo disponibiliza o fósforo do solo para as plantas hospedeiras, recebendo em troca o carbono. Essa associação contribui para o acúmulo de matéria seca e melhor absorção de água pelas plantas (Colodete et al., 2014), conferindo tolerância ao déficit hídrico, em situações de seca (Marulanda et al., 2007), e à salinidade (Koide e Mosse, 2004).

Truber e Fernandes (2014) ressaltam ainda que os FMAs contribuem para a ciclagem de nutrientes, estruturação do solo, maior desenvolvimento das plantas, sobretudo, pelas aquisições nutricionais. Além disso, os FMAs também atuam na tolerância aos patógenos radiculares, reduzindo o nível de aplicação de fertilizantes após transplântio de mudas, contribuindo, assim, para o vigor e capacidade de sobrevivência das plantas (Nogales et al., 2009; Sugai et al., 2011).

Os benefícios dos FMAs na nutrição das plantas, estão diretamente ligados as suas propriedades de otimização do desenvolvimento do micélio extra radicular, proporcionando a ampliação da capacidade de exploração do solo, para além das zonas de depleção das raízes, tornando-as mais eficientes (Gosling et al., 2006), uma vez que, a associação das raízes com os FMAs, possibilita que a planta tenha acesso aos nutrientes que possuem baixa mobilidade no solo (Cavagnaro, 2008; Souza et al., 2011), como o zinco, cobre e particularmente o fósforo (Zeng et al., 2013).

Whiteside et al. (2019) descrevem em sua pesquisa que os FMAs proporcionam as trocas realizadas com a raiz hospedeira de acordo com os recursos disponíveis no solo. Assim, os autores evidenciam que os FMAs

possuem estratégias de translocação, que podem ajudar a lidar com diferentes disponibilidades de recursos, como o fósforo no solo.

Portanto, os benefícios dos FMAs vão muito além da nutrição individual das plantas, pois o micélio de FMAs interconecta o sistema radicular de plantas vizinhas da mesma espécie ou de espécies distintas. Desta forma, a maioria das plantas está interligada por uma rede de hifas micorrízicas em comum, pelo menos durante alguma fase do seu ciclo de vida (Newman, 1988).

Essa simbiose pode ocorrer sob condições naturais de estresse, abrangendo quase todos os ambientes, como florestas tropicais e temperadas (Zangaro e Moreira, 2010; Godoy e Marín, 2019), dunas marítimas (Stürmer et al., 2010; Assis, 2015), e agroecossistemas (Carrenho et al., 2010), constituindo a mais ampla simbiose entre fungos e plantas na natureza (Smith e Read, 2008). Além disso, também são capazes de colonizar e de se estabelecer em ecossistemas degradados ou em condições salinas (Ruíz-Lozano et al., 2012).

Considerando que não há evidências de especificidade pelo hospedeiro (Helgason et al., 2007), tem sido observada uma compatibilidade entre os envolvidos na simbiose (Pouyu-Rojas et al., 2006). As plantas respondem de maneira diferente à colonização dos FMAs, conforme a exigência de carbono para cada fungo (Canton, 2012).

Cabe, portanto, ressaltar a diversidade no modo, função e reação da colonização do FMAs, em conformidade com os organismos envolvidos e as condições ambientais (Cavalcante et al., 2002; Gosling et al., 2013; Kim et al., 2017). A existência de diferentes graus de compatibilidade entre planta hospedeira e FMAs, decorre das variações nas características genéticas do hospedeiro determinando, dessa forma, a dependência micorrízica (Canton, 2012).

Assim, Alguacil et al. (2003) e Balota et al. (2011) salientam a importância da triagem de espécies de fungos para maximizar os benefícios da simbiose, recomendando que diferentes espécies de FMAs sejam comparadas, sob diferentes condições de solo, para que se possa assim, selecionar espécies eficientes em promover o desenvolvimento e crescimento das plantas, com mínimos gastos de insumos, constituindo-se em uma prática promissora para uma maior viabilidade e sustentabilidade em solos tropicais (Carneiro *et al.*, 2012).

Estudos têm demonstrado que a inoculação com FMAs tem influenciando a produção de biomassa, e também o perfil qualitativo e quantitativo de metabólitos secundários, de plantas aromáticas e medicinais da família Lamiaceae, como: *Ocimum basilicum* (manjeriço) (Russomanno et al., 2008; Copetta et al., 2007), *Origanum onites* (orégano) (Khaosaad et al., 2006), *Mentha arvensis* (hortelã) (Freitas et al., 2006), *Mentha viridis* (Geneva et al., 2010), *Mentha perperita* L. (Arango, 2012), *Salvia officinalis* (sálvia) (Nell et al., 2009; Tarraf et al., 2017), *Satureja macrostema* (Carreon-Abud et al., 2015), *Pogostemon cablin* (patchouli) (Santos, 2014). Sendo assim, a produção de biomassa pode estar relacionada, tanto com o efeito da inoculação na nutrição da planta, quanto pela resposta de defesa do hospedeiro à presença do fungo (Volpin et al., 1994).

Beltrame et al. (2019) realizaram uma meta análise e confirmaram o potencial dos FMAs no incremento da biomassa e no acúmulo de P em plantas da família Lamiaceae. Em espécies de lavanda, estudos como o de Azcón e Barea (1997) e Bakkali et al. (2011), confirmam a associação com FMAs.

Marulanda et al. (2007), estudando a inoculação com duas espécies fúngicas, *Glomus intraradices* e *Glomus mosseae*, em plantas de *Lavandula spicata*, observaram maior produção de biomassa radicular e maior eficiência na absorção de N e K. Karagiannidis et al. (2012), com o objetivo de avaliarem o efeito de *Glomus lamellosum* na colonização, crescimento, produção e composição de óleos essenciais, assim como a aquisição de nutrientes pela espécie *Lavandula angustifolia*, concluíram que o uso dos FMAs proporcionou incrementos no crescimento de plantas em solos de baixa fertilidade, reduzindo o uso de adubos, e também proporcionou incrementos na produção de óleos essenciais.

2.4 Adubação fosfatada

O fósforo (P) é um dos elementos de fundamental importância para as funções dos seres vivos, pois compõe e participa de vários processos metabólicos, como constituinte de fosfolipídios e coenzimas, ativando a produção de aminoácidos utilizados na síntese de proteínas, DNA, RNA e ATP (Marschner, 2012; Taiz e Zeiger, 2013).

Em termos quantitativos, o fósforo é o macronutriente menos exigido pelas plantas, porém, é o que mais limita a produção agrícola (Prado et al., 2005; Batista *et al.*, 2011). A concentração de P na solução do solo geralmente é baixa, devido à sua imobilização em decorrência das fortes interações que apresenta com seus constituintes, pois a grande maioria de P encontra-se adsorvido na superfície dos colóides ou precipitado com fosfato de cálcio, ferro e alumínio (Moreira e Siqueira, 2006; Raij, 2011).

A maior parte do P no solo se move até as raízes do vegetal por difusão, dificultando ainda mais a absorção do nutriente pela planta (Grant et al., 2001). Com isso, muitos estudos buscam entender a relação dos fungos micorrízicos arbusculares com o fósforo, pois se sabe que um dos principais benefícios das micorrizas à planta hospedeira está associado com a absorção de nutrientes, principalmente o fósforo (Freitas et al., 2004; Smith e Read, 2008; Nisha e Rajeshkumar, 2010).

Muitas hipóteses já foram propostas para explicar a regulação do P no desenvolvimento da micorriza. Dentre elas, a de que o fósforo pode afetar a exsudação radicular, cujos componentes podem ser importantes para a nutrição dos FMAs, ou atuando na sinalização molecular durante os processos de pré-infecção e colonização (Kiriacheck *et al.*, 2009).

Estudos de nutrição de plantas aromáticas demonstraram incrementos na produção de óleos em tanaceto (*Tanacetum parthenium* L.) (Saharkhiz e Omidbaigi, 2008), sálvia (*Salvia officinalis* L.) (Nell et al., 2009), manjerição (*Ocimum basilicum*) (Ramezani et al., 2009) e menta (*Mentha arvensis*) (Freitas et al., 2006), em função da aplicação de adubação fosfatada. Isso ocorre, pois o fósforo está presente na formação de óleos essenciais, que por sua vez são derivados da rota biossintética do acetato, e essa rota requer fósforo inorgânico para compor sua unidade básica, o isopreno ativo IPP (isopentenil pirofosfato). O fósforo também é necessário para a formação do MEP (metileritritol fosfato), que seria outra rota de formação dos óleos essenciais (Mann, 2001).

Chrysargyris et al. (2016), trabalhando com doses de P e plantas de lavanda (*L. angustifolia*) em cultivo hidropônico, observaram que a aplicação de P 50 mg L⁻¹ proporcionaram incrementos nos teores de óleos essenciais, porém, o peso seco e fresco do material vegetal não apresentou diferença.

Fidelis et al. (2019), verificando a produtividade de chia (*Salvia hispânica* L.) em função das doses de fósforo, observaram maior desenvolvimento e produtividade da cultura, em respostas às doses 30 e 60 kg ha⁻¹ de fósforo. Tarraf et al. (2017) também observaram efeito das doses de fósforo e inoculação de FMAs na produtividade de sálvia (*Salvia officinalis* L.).

O uso de maiores concentrações de P na solução (24 e 30 mg L⁻¹) aplicada em hortelã pimenta (*Mentha piperita*), promoveu aumento no crescimento da parte aérea da planta, mas reduziu seus teores de óleos essenciais (Rodrigues et al., 2004). Também trabalhando com hortelã pimenta, submetidas a diferentes níveis de P, David et al. (2006) não verificaram efeito da adubação fosfatada no rendimento ou na composição dos óleos essenciais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ (Latitude = 21°19'23"; Longitude = 41°10'40" W; Altitude = 14m), entre os meses de maio a setembro de 2019. Durante a condução do experimento, no interior da casa de vegetação, os valores diários de temperatura máxima variaram de 27,0 a 40,0°C, com média das máximas igual a 34,4°C, e temperatura mínima de 13,7 a 21,5°C, com média das mínimas igual a 18,0°C.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 2x3, consistindo o primeiro fator em duas doses de fósforo (P), 0 e 60 mg dm⁻³ de substrato, e o segundo fator três tratamentos microbiológicos, *Rhizophagus clarus* (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) C. Walker & A. Schüssler, *Claroideoglossum etunicatum* (W. N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler e o controle – sem fungo, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por três vasos com capacidade de 3 dm³, contendo uma planta por vaso.

3.2 Preparo do substrato

O solo utilizado foi coletado na unidade do Colégio Agrícola Antônio Sarlo, localizado na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ, na profundidade de 0-20 cm, posteriormente, o material foi refinado em peneira de abertura de malha de 2 mm. Em seguida realizou-se uma mistura de solo e areia lavada, na proporção de 2:1 (v/v).

Na sequência, o substrato foi esterilizado em autoclave (121°C por uma hora) por duas vezes, para eliminar os micro-organismos presentes. A análise química do substrato foi realizada no Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), unidade Campos dos Goytacazes, e os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Características químicas do substrato utilizado no experimento

pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	C	MO	
	--- mg dm ⁻³ ---		----- cmol _c dm ³ -----					%	g dm ⁻³	
6,0	10,0	43,0	1,0	0,6	0,12	0,0	0,9	0,72	12,4	
SB	T	t	m	V	Fe	Cu	Zn	Mn	B	S
	----- cmol _c dm ⁻³ -----		%		----- mg dm ⁻³ -----					
1,8	2,7	1,8	0,0	67,0	36,9	0,6	3,2	88,0	0,61	18,7

Os teores de K do substrato foram elevados para 119 mg dm⁻³, por meio de adição de K₂SO₄ no tratamento sem incremento de P, e de KH₂PO₄ no tratamento com adição de P. Na sequência, 3,0 kg do substrato foram transferidos para os vasos de PVC, onde permaneceram incubados por 40 dias. Após esse período, realizou-se a análise de P no solo em todos os tratamentos com o extrator Mehlich⁻¹, obtendo-se os seguintes resultados: 12,6 e 31,5 mg de P dm⁻³, respectivamente, para as doses de 0 e 60 mg dm⁻³ P, aplicadas ao substrato.

3.3 Preparo dos inóculos de FMAs

As duas espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs), *Rhizophagus clarus* (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) C. Walker & A. Schüssler (AMF01) e *Claroideoglomus etunicatum* (W. N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler (AMF03), provenientes da coleção de inóculos do Laboratório de Microbiologia do solo – UENF, ficaram armazenadas em câmara fria a 4 °C, por cerca de 30 dias, até execução deste experimento.

As espécies foram multiplicadas em associação com milho (*Zea mays*), por um período de 90 dias, cultivadas com substrato (mistura de solo + areia, na proporção de 1:2 (v:v)), previamente esterilizado, em vasos com capacidade de 5 kg. A propagação se deu por meio de esporos, micélio e fragmentos de raízes colonizadas (propágulos), que ao infectarem as raízes da planta hospedeira, se desenvolveram dando origem à novos propágulos.

Antes do plantio as sementes de milho foram previamente esterilizadas em solução de hipoclorito a 0,5% por 15 minutos e, posteriormente, foram lavadas com água deionizada por quatro vezes consecutivas.

Após 90 dias, a parte aérea das plantas foi cortada e os vasos cobertos com sacos de papel, e mantidos sem irrigação por um mês, para estimular a esporulação dos fungos. Na sequência, a mistura do solo, contendo as raízes colonizadas e esporos dos FMAs, foi conservada em câmara fria a 4 °C, até a execução do experimento.

Em seguida, realizou-se extração dos esporos de cada espécie de FMAs, por meio da metodologia de peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963). A quantidade de esporos encontrados foi de 860 por 50 cm³ de solo para inóculo de *R. clarus*; e 2360 por 50 cm³ de solo para o inóculo de *C. etunicatum*.

3.4 Produção e inoculação das mudas

As mudas de *L. dentata* foram produzidas via estaquia. Os ramos usados foram provenientes do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UENF. Foram mantidos dois nós, enterrados em copos plásticos de 50 mL, utilizando 50 cm³ de areia autoclavada como substrato. As estacas foram mantidas em casa de

vegetação e irrigadas diariamente. Após 35 dias, quando apresentaram enraizamento, as mudas foram transferidas para os vasos.

Os tratamentos contendo os FMAs foram inoculados com $50 \text{ cm}^3 \text{ vaso}^{-1}$ da mistura de solo e raízes colonizadas, aplicados a uma profundidade de aproximadamente 10 cm da superfície do substrato para cada tratamento correspondente, deixando-se os tratamentos controle sem inoculação.

Durante a condução do experimento, as irrigações foram mantidas diariamente. Aos 17 e 38 dias após o plantio, aplicou-se uma dose de 20 mg dm^{-3} de N em todos os tratamentos, utilizando-se como fonte nitrato de amônio (NH_4NO_3). E aos 48 e 60 dias após o plantio, aplicou-se uma dose de 20 mg dm^{-3} de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), sem fósforo, em todos os tratamentos.

3.5 Análise dos parâmetros de crescimento

A altura (H) e o diâmetro do caule (DC) das mudas foram mensurados semanalmente, 20 dias após o plantio. A altura foi determinada com auxílio de uma régua milimetrada, medindo-se da base do caule ao ponto máximo de alcance das folhas, e o diâmetro do coleto foi determinado com auxílio de um paquímetro digital milimetrado, colocado na base no caule (coleta). Ao final de 120 dias após o replantio realizou-se a coleta do experimento.

A parte aérea foi separada das raízes e pesada, por unidade experimental, utilizando-se uma balança digital com precisão de três casas decimais, para determinação da massa da matéria fresca da parte aérea (MFPA). O material da parte aérea foi acondicionado em sacos de papel e colocados em estufa de ventilação forçada a 40°C , até atingirem massa constante. Após a secagem, os materiais foram pesados, utilizando-se uma balança digital com precisão de três casas decimais, para determinação da massa da matéria seca de parte aérea (MSPA).

As raízes, por sua vez, foram retiradas dos vasos, lavadas em água corrente até completa retirada do substrato e, em seguida, foram pesadas, utilizando-se uma balança digital com precisão de três casas decimais, para determinação da massa da matéria fresca da raiz (MFR). Desse material, foram

coletados e armazenados, em álcool etílico 50%, fragmentos de raízes finas para posterior determinação da porcentagem de colonização micorrízica.

Posteriormente, o material da raiz foi acondicionado em sacos de papel e colocado em estufa de ventilação forçada a 40°C, até atingirem massa constante. Após a secagem os materiais foram pesados, utilizando-se uma balança digital com precisão de três casas decimais, para determinação da massa da matéria seca da raiz (MSR).

3.6 Análises nutricionais

Para a análise nutricional foram retiradas e maceradas manualmente em cadinho, 0,2 gramas da matéria seca da parte aérea. Posteriormente, o material foi submetido a análises químicas para determinação dos teores dos macronutrientes e posterior cálculo dos conteúdos.

Para a determinação dos teores de N, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica, na qual o nitrogênio foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965), e os teores de P, K, Ca, Mg e S foram determinados usando plasma (ICPE-9000) da marca Shimadzu®, após digestão com HNO₃ e H₂O₂, em sistema de digestão aberta (Peters, 2007).

A partir do valor da massa da matéria seca da parte aérea, e dos respectivos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, foram calculados os conteúdos dos nutrientes por parte aérea das plantas.

3.7 Avaliação da porcentagem de colonização micorrízica

A partir dos fragmentos de raízes finas, armazenados em álcool etílico 50%, coletados na etapa de lavagem das raízes, foi determinada a porcentagem de colonização micorrízica, de acordo com a metodologia descrita por Sgrott et al. (2012). Para coloração das raízes foi utilizada a metodologia de Koske e Gemma (1989), com adaptações para a espécie.

O método analítico seguiu as seguintes etapas: 1º) As raízes foram imersas em uma solução de 10% de KOH em banho-maria, a 90°C, durante 60 minutos; 2º) Na sequência, as raízes foram lavadas sob água da torneira e

imersas em uma solução alcalina de H_2O_2 , durante 30 minutos; 3º) após a lavagem, as raízes foram colocadas numa solução de HCl a 1% durante 20 minutos; 4º) Após a remoção de HCl, as raízes foram cobertas por uma solução de 0,05% de azul de tripano, e deixadas por outros 60 minutos em banho maria a 90 °C.

Para verificar a colonização da raiz, 10 pedaços de raízes finas, de aproximadamente um centímetro, foram depositados com o auxílio de uma pinça sobre uma lâmina com PVLG (polivinil-lacto-glicerol), e cobertos com uma lamínula. A presença de estruturas fúngicas (hifas, arbúsculos e vesículas) foram avaliadas sob microscópio, com uma ampliação de 100x em cada raiz.

3.8 Extração do óleo essencial

Para a extração dos óleos essenciais foi utilizado o método de hidrodestilação em aparelho de Clevenger (Biasi e Deschamps, 2009). As amostras secas da parte aérea das plantas foram transferidas para um balão de destilação de 2.000 mL. O volume de 1.000 mL de água deionizada foi acrescentado, procedendo a hidrodestilação por 2 horas. A mistura resultante de água e óleo volátil foi coletada, e o óleo foi extraído com diclorometano (10 mL), empregando-se a partição líquido-líquido em funil de separação (Chrysargyris et al., 2016).

Para remover o solvente, os frascos contendo a mistura (óleo essencial + diclorometano) foram postos sob capela de exaustão de gases, em temperatura ambiente, até atingir massa constante. Em seguida, a massa do óleo essencial foi determinada em balança digital, com sensibilidade 0,0000 g, e calculados seus teores percentuais ($p\ p^{-1}$) na parte aérea da planta seca e conteúdo ($g\ planta^{-1}$) de óleo essencial.

3.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos do experimento fatorial (2x3) foram comparados por meio da análise de variância, seguida do teste de Tukey a 5%, utilizando o programa SANEST (Zonta et al., 1984).

As médias foram representadas por letras, onde as médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). Foram calculados o $IR_F\%$ (Incremento relativo à inoculação com FMAs) com a seguinte fórmula: $[IR_F\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada); e o $IR_P\%$ (Incremento relativo à presença de P) no substrato: $[(IR_P\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: com P e y: sem P].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Porcentagem de colonização micorrízica

Verificou-se, pela análise estatística, interação significativa para os fatores fungo e doses de fósforo, para a porcentagem de colonização micorrízica (PCM). A porcentagem de colonização micorrízica apresentou desde baixos percentuais, como no tratamento com *C. etunicatum* na dose 60 mg dm⁻³ de P (11,25%), até altos percentuais, como encontrado no tratamento com *R. clarus* na dose 0 mg dm⁻³ de P (84,75%) (Tabela 2).

Na dose 0 mg dm⁻³ de P, foi possível observar maior porcentagem de colonização micorrízica nos tratamentos fúngicos, quando comparados à dose 60 mg dm⁻³, demonstrando que a baixa disponibilidade de fósforo favorece a associação simbiótica. Não ocorreu colonização micorrízica nos tratamentos sem inoculação do FMAs, portanto, não houve contaminação nos mesmos.

De acordo com Azcón e Barea (1997), as plantas de lavanda têm sido descritas como espécies dependentes de micorrizas, já que estas favorecem a sobrevivência do gênero em ambientes mediterrânicos degradados, onde a atividade microbiana do solo é reduzida. A dependência micorrízica é uma propriedade da planta que se refere ao grau de sua capacidade de resposta à colonização micorrízica. Tal mecanismo é desenvolvido pelas plantas principalmente em condições de baixa disponibilidade de nutrientes, particularmente fósforo.

Tabela 2: Porcentagem de colonização micorrízica (PCM) em raízes de lavanda, em função dos FMAs e adubação fosfatada, 120 dias após replantio

P (mg dm ⁻³)	PCM (%)			
	FMAs			Média
	Sem FMAs	<i>R. clarus</i>	<i>C. etunicatum</i>	
0	0,00 cA	84,75 aA	36,25 bA	40,33
60	0,00 cA	52,00 aB	11,25 bB	21,08
Média	0,00	68,37	23,75	30,70
C.V. (%)	9,18			

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Estudando a inoculação de FMAs em espécie de *Lavandula multifida*, Bakkali-Yakhlef et al. (2011) observaram alta porcentagem de colonização micorrízica, corroborando os relatos de Azcón e Barea (1997), que descreveram a espécie como micorriza-dependentes.

Observou-se, neste trabalho, colonização de ambos os tratamentos fúngicos na ausência de adubação fosfatada (Tabela 2). Segundo Smith e Read (2008), a disponibilidade de P no solo é um fator edáfico importante para o funcionamento da simbiose micorrízica. A adição de pequenas doses de fósforo, em solos com disponibilidade limitante ou muito baixa, aumenta tanto a colonização quanto o micélio externo, pois quando o fósforo é limitante ao desenvolvimento radicular, também o é para o desenvolvimento do fungo (Munhoz e Alberton, 2019). No entanto, doses mais elevadas interferem mais na produção das hifas extramatriciais do que na colonização (Siqueira e Saggini Júnior, 2001; Antonioli e Kamisnki, 1991).

Urcoviche et al. (2015), trabalhando com menta (*Mentha crispa* L.) inoculados com FMAs, verificaram que a inoculação da espécie *Claroideoglossum etunicatum* propiciou incrementos na porcentagem de colonização micorrízica em solo com baixas concentrações de P (20 mg kg⁻¹), entretanto, com adição de P (200 mg kg⁻¹) essa porcentagem caiu de 61,2 para 39,3% .

No trabalho desenvolvido por Vieira (2017), com plantas de jambu e espécies de FMAs, foi demonstrado que tanto na ausência como na presença da adubação fosfatada, as plantas inoculadas com o *R. clarus* produziram maior massa seca em relação às plantas inoculadas com *C. etunicatum*, mesmo com o menor número de esporos. Russomanno et al. (2008) verificaram em plantas de

alecrim, inoculadas com *C. etunicatum*, colonização 30,9% maior quando comparadas com plantas inoculadas com *R. clarus*. Rodrigues et al. (2018) destacaram que cada espécie vegetal pode responder de maneira diferente às diferentes espécies micorrízicas, e que essa associação simbiótica pode variar, desde levemente negativa, até altamente positiva, dependendo do fungo e da espécie vegetal.

Alguns autores observaram o mesmo efeito negativo do incremento nas doses de P sob a porcentagem de colonização de FMAs, que foram observados no presente trabalho. Riter Netto et al. (2014) observaram que a colonização micorrízica das plantas de maracujazeiro doce inoculadas com *G. etunicatum* reduziu com a adição de P, sendo em média 16% menor que no tratamento sem adubação.

Freitas et al. (2004), trabalhando com plantas de menta inoculadas com FMAs e doses de P, observaram que o incremento de P no solo provocou decréscimos na porcentagem de colonização micorrízica, com valores variando de 81 para 40%, no tratamento com *Glomus clarum*, e de 69 para 38%, no tratamento com *Gigaspora margarita*. Heitor et al. (2016), avaliando a porcentagem de colonização micorriza em plantas calêndula, observaram redução na porcentagem de colonização com adição da adubação fosfatada, de 77,5% para 52,5%, quando colonizadas com *G. margarita*, e de 87,5% para 57,5%, quando colonizadas com *G. clarum*.

Segundo Antonioli e Kaminski (1991), não existem evidências de especificidade entre os fungos micorrízicos e as plantas no processo de infecção ou colonização, como as associações entre plantas superiores e organismos fixadores de nitrogênio. Porém, Barea et al. (2011) sugerem que há sim especificidade nas interações entre fungo-planta. De fato, os inúmeros trabalhos envolvendo micorrizas de diferentes espécies fúngicas e vegetais, indicam haver diferentes graus de compatibilidade entre os envolvidos, cuja eficiência da simbiose, pode ser determinada por uma “compatibilidade funcional” controlada, concomitantemente, pelo genoma do fungo e do hospedeiro, e pelos fatores externos (Antonioli e Kaminski, 1991).

4.2 Parâmetros de crescimento

Para as variáveis altura (H), massa da matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA), massa da matéria fresca (MFR) e seca da raiz (MSR), e massa da matéria fresca de inflorescências (MFI), apresentadas nas Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente, observa-se efeitos significativos da interação entre os tratamentos fúngicos e as doses de fósforo aplicadas

A altura média encontrada nas plantas foi de 33,8 cm, com variações entre 25,9 cm para tratamento sem FMAs e sem fósforo, e 37,9 cm para tratamento inoculados com *R. clarus* e com 60 mg de P. Na ausência de adubação fosfatada as espécies de FMAs, *R. clarus* e *C. etunicatum*, proporcionaram incrementos na altura das plantas de 41,6 e 33%, respectivamente, em relação ao tratamento controle, que apresentou a menor altura. Não ocorreu o mesmo nos tratamentos com adição de P ao substrato que, independente da presença ou ausência de FMAs, mantiveram as médias estatisticamente iguais (Tabela 3).

Tabela 3: Altura de plantas, em cm, de lavanda em função da inoculação com FMAs e de doses de P no substrato, aos 120 dias após replantio

P (mg dm ⁻³)	FMAs					
	Sem FMAs	<i>R. clarus</i>	IR _F %	<i>C. etunicatum</i>	IR _F %	Média
0	25,9 bB	36,7 aA	41,7	34,5 aA	33,2	32,3
60	33,6 aA	37,9 aA	12,8	34,4 aA	2,4	35,3
IR _P %	29,7	3,3	-	-0,3	-	
Média	29,8	37,3		34,4		33,8
C.V. (%)	7,64					

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): [IR_F% = 100(x-y)/y, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada)]; e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: [(IR_P% = 100(x-y)/y, sendo x: com P e y: sem P)].

Cavalcante et al. (2002), trabalhando com maracujá (*Passiflora edulis*) inoculadas com as espécies de FMAs, observaram que a inoculação com *G. albida* e *G. margarita* beneficiou o crescimento das mudas, o que não ocorreu na associação com *S. heterogama* e *A. longula*.

No presente trabalho, o tratamento sem inoculação junto à adição de P ao substrato, proporcionou incrementos de 135% na altura média das plantas de lavanda, em relação ao controle, também sem adição de P (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Heitor *et al.* (2016) com plantas de calêndula (*Calendula officinalis* L.). Esses autores observaram que na ausência de FMAs as plantas de calêndula responderam a adubação fosfatada com incrementos de 60% na altura em relação as plantas do tratamento controle.

Além dos incrementos proporcionados pelos FMAs no crescimento de plantas medicinais e aromáticas, estudos também têm sido realizados com espécies florestais, demonstrando os efeitos de diferentes doses de fósforo e da inoculação micorrízica. Um exemplo é o estudo de Pouyú-Rojas *et al.* (2006) com plantas de sesbânia (*Sesbania virgata*) e timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*).

Entretanto, existem casos em que os FMAs podem não beneficiar o crescimento das plantas, como observado por Pedone-Bonfim *et al.* (2015) em mudas de eritrina (*Erythrina velutina*). Esses autores observaram que os incrementos no crescimento não foram influenciados pela inoculação com FMAs, e sim pela adição de P ao solo. Neste caso, o incremento no crescimento pode estar relacionado com o grau de micotrofismo da espécie e com o tempo de condução do experimento.

Nas Tabelas 4 e 5 pode-se observar que na ausência de adubação fosfatada as espécies fúngicas, *R. clarus* e *C. etunicatum*, promoveram incrementos na massa da matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA), respectivamente. Este resultado demonstra que substratos com baixos teores de fósforo evidenciam os benefícios da inoculação com FMAs.

A adição de P ao substrato proporcionou incrementos na MFPA e na MSPA, porém, as plantas micorrizadas não diferiram estatisticamente em relação ao tratamento sem micorriza (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4: Massa da matéria fresca da parte aérea (MFPA), em g, de plantas de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada

P (mg dm ⁻³)	FMAs					Média
	Sem FMAs	<i>R. clarum</i>	IR _F %	<i>C. etunicatum</i>	IR _F %	
0	16,0 bB	39,6 aA	147,1	32,7 aB	104,2	29,4
60	37,7 aA	43,8 aA	16,3	40,8 aA	8,3	40,7
IR _P %	135,0	10,6	-	24,7	-	
Média	26,8	41,7		36,8		35,1
C.V. (%)	11,1					

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): [IR_F% = 100(x-y)/y, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada)]; e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: [(IR_P% = 100(x-y)/y, sendo x: com P e y: sem P)].

Diante da abordagem realizada, o tratamento com a espécie fúngica *R. clarus*, na ausência de adubação fosfatada, foi o que atingiu maiores incrementos na MFPA (147,1%), e na MSPA (148,5%) (Tabelas 4 e 5). As doses de fósforo testadas na ausência de FMAs apresentaram maiores incrementos, quando comparados aos tratamentos inoculados. A dose 60 mg de P dm⁻³ proporcionaram incrementos de 135,0% na MFPA (Tabela 4) e 131,5% na MSPA (Tabela 5).

Tabela 5: Massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), em g, de plantas de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada

P (mg dm ⁻³)	FMAs					Média
	Sem FMAs	<i>R. clarus</i>	IR _F %	<i>C. etunicatum</i>	IR _F %	
0	5,0 bB	12,5 aA	148,5	10,0 aB	98,2	9,2
60	11,6 aA	14,1 aA	21,0	12,7 aA	9,3	12,8
IR _P %	131,5	12,7	-	27,7	-	
Média	8,3	13,3		11,3		11,0
C.V. (%)	13,8					

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): [IR_F% = 100(x-y)/y, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada)]; e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: [(IR_P% = 100(x-y)/y, sendo x: com P e y: sem P)].

Alguns trabalhos demonstram os benefícios dos FMAs nos parâmetros de crescimento de plantas medicinais e aromáticas. Silva (2012), trabalhando com hortelã (*Mentha x piperita* L. VAR. *citrata*), observou que a massa seca das folhas foi superior nos tratamentos inoculados com micorrizas em relação ao controle.

Beltrame et al. (2019) observaram que a inoculação com FMAs aumentou a altura das plantas de Lamiaceae em 17%, a massa da matéria seca em 96%, a massa total em 91%, e os teores de P na parte aérea em 248%. Esses resultados confirmam o incremento obtido no presente trabalho, demonstrando o potencial dos FMAs em promover o crescimento e a produção de massa da matéria seca de lavanda.

Estudos de Karagiannidis et al. (2012), com plantas de orégano (*Origanum onites* L.) e hortelã (*Mentha requienii* Benth), demonstraram incrementos de 2 a 4,7 vezes na produção de massa seca das plantas inoculadas, quando comparadas com as plantas não inoculadas. Khaosaad et al. (2006), também trabalhando com orégano (*Origanum* sp.), observaram que as plantas micorrizadas proporcionaram incrementos na massa da matéria seca da parte aérea.

Russomano et al. (2008) observaram, em plantas de manjerição e alecrim, incrementos de 45 e 26%, respectivamente, na altura, quando inoculadas com *R. clarus*, em relação ao controle. Portugal et al. (2006) também encontraram valores significativos para a produção de massa seca de folhas de estêvia (*Stevia rebaudiana* (bert.) Bertoni.), nos tratamentos inoculados com *G. intraradices* (1,65 g), *C. etunicatum* (1,60 g) e *Acaulospora* sp. (1,62 g), enquanto o controle produziu apenas 0,41 g.

Os resultados apresentados demonstram a capacidade dos FMAs em promover maior produção de massa da matéria seca da parte aérea das plantas de lavanda, cultivadas sob baixa disponibilidade de P (10,0 mg dm⁻³) no substrato (Tabela 5). Dentre os mecanismos envolvidos na absorção de fósforo, a associação de raízes com os fungos de micorrizas arbusculares e a exsudação de fosfatases, podem ser entendidas como importantes adaptações desenvolvidas por plantas em solos com alta capacidade de fixação de P (González-Chávez e Ferrera-Cerrato, 2007).

Freitas et al. (2006), estudando plantas de hortelã (*Mentha arvensis* L.) inoculada com FMAs, observaram que as espécies *R. clarus* e *G. margarita*, na ausência da adubação fosfatada, proporcionaram as maiores produções de massa fresca da parte aérea, com incrementos de 207 e 198%, respectivamente, em relação ao tratamento sem FMAs, enquanto as espécies *G. etunicatum* e *A. scrobiculata* foram menos eficientes em promover o crescimento das plantas.

Trabalhando com plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), Tomazelli (2019) observou que a maior massa fresca da parte aérea foi alcançada nos tratamentos inoculados com os FMAs, apresentado resultado cerca de 110% maior que o controle, para o qual destaca-se a inoculação com *R. clarus*.

Flores-Aylas (2003), avaliando o efeito de *Glomus etunicatum* e adição de P, em seis espécies arbóreas, demonstrou que massa seca da parte aérea foi incrementada pela inoculação com *C. etunicatum* até 0,02 mg L⁻¹ de P na solução do solo, entretanto, o efeito da inoculação foi inibido na maior concentração de P (0,2 mg L⁻¹). É importante considerar que as espécies vegetais podem variar quanto à exigência de P, e que baixas doses deste nutriente em sua fase de muda, pode ser suficiente para o seu desenvolvimento.

É possível verificar na Tabela 6 que a produção de massa da matéria seca da raiz não diferiu significativamente entre as espécies de FMAs e controle, e nas diferentes doses de fósforo, aos 120 dias após replantio. A inoculação com as espécies, *R. clarus* e *C. etunicatum*, proporcionou decréscimos na MSR, -18,5 e -15,9%, respectivamente, em relação às plantas não inoculadas e sem adubação com P. Esta resposta condiz com o fato de que as micorrizas aumentam a área de absorção das raízes, possibilitando que a planta poupe gasto energético em sua produção.

Heitor et al. (2016) verificaram incrementos na massa da matéria seca de raiz da calêndula, de 30,1% nos tratamentos inoculados *G. margarita*, e de 26,1% inoculadas com *R. clarus*, em relação às plantas cultivadas sem FMAs, independente da adição de fósforo. Esse cenário diverge dos resultados obtidos no presente trabalho, em que nenhum dos tratamentos diferiram estatisticamente. Plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), inoculadas com *R. clarus*, obtiveram maior massa fresca de raiz em relação ao controle, com incrementos de 176%, em relação às raízes de plantas não inoculadas (Tomazelli, 2019).

Tabela 6: Massa da matéria seca da raiz (MSR), em g, de plantas de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada

P (mg dm ⁻³)	FMAs					Média
	Sem FMAs	<i>R. clarus</i>	IR _F %	<i>C. etunicatum</i>	IR _F %	
0	3,1 aA	2,5 aA	-18,5	2,6 aA	-15,9	2,7
60	2,4 aA	3,2 aA	31,8	3,1 aA	26,2	2,9
IR _P %	-21,1	27,5	-	18,4	-	
Média	2,8	2,9		2,9		2,8
C.V. (%)	17,8					

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): $[\text{IR}_F\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada); e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: $[(\text{IR}_P\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: com P e y: sem P)].

Aos 120 dias após replantio foi possível observar que a inoculação com FMAs e adubação fosfatada influenciou a massa da matéria fresca das inflorescências (MFI) da lavanda (Tabela 7). Na presença da adubação fosfatada a espécie fúngica *R. clarus* proporcionou incrementos de 146,2%, e a espécie *C. etunicatum* de 134,3%, em relação ao controle, sem micorriza.

Tabela 7: Massa da matéria fresca das Inflorescências (MFI), em g, de lavanda aos 120 dias após replantio em função da inoculação com FMAs e adubação fosfatada

P (mg dm ⁻³)	FMAs					Média
	Sem FMAs	<i>R. clarus</i>	IR _F %	<i>C. etunicatum</i>	IR _F %	
0	0,000 cB	0,560 aA	-	0,227 bB	-	0,262
60	0,210 bA	0,517 aA	146,2	0,492 aA	134,3	0,406
IR _P %	-	-7,6	-	116,7	-	
Média	0,105	0,539		0,359		0,334
C.V. (%)	23,64					

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): $[\text{IR}_F\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada); e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: $[(\text{IR}_P\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: com P e y: sem P)].

No trabalho desenvolvido por Heitor et al. (2016), as plantas de calêndula inoculadas com as espécies fúngicas *G. margarita* e *R. clarus*, e na ausência da adubação fosfatada, apresentaram o maior número de capítulos florais. A inoculação com FMAs resultou em maior acúmulo e massa seca das folhas, e

aumentou significativamente a área foliar total, folhas por planta, número de flores por cacho, e flores por planta em plantas de gerânio (*Pelargonium zonale* L.), em relação ao controle (Conversa et al., 2015).

Plantas de lavanda (*L. angustifolia*) inoculadas com *Rhizophagus intraradices* foram influenciadas pela inoculação com FMAs no desenvolvimento fenológico, como antecipação no brotamento, início da floração e floração completa, em relação ao controle, e no fim da floração foi estatisticamente igual para ambos tratamentos (Golubkina et al., 2020).

4.3 Conteúdo dos macronutrientes

Na Tabela 8 verifica-se os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e S, obtidos da parte aérea das plantas de lavanda inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares, na presença e ausência de adubação fosfatada.

Na ausência da adubação fosfatada os conteúdos de N, P, K, Ca e S, apresentaram incrementos, quando inoculadas com as espécies *R. clarus* e *C. etunicatum* de 57,7 e 42,4%; 75 e 63,8%; 55 e 46%; 52 e 34% e 66, 52%, respectivamente (Tabela 8). Esses resultados expressam a capacidade dos FMAs, em promover o aumento na absorção de macronutrientes, mesmo em condições de baixa disponibilidade de P no substrato.

Tabela 8: Conteúdo de macronutrientes, em mg planta⁻¹, de lavanda em função dos FMAs e adubação fosfatada, aos 120 dias após replantio

FMAs	P (mg dm ⁻³)					
	N (mg planta ⁻¹)			P (mg planta ⁻¹)		
	0 P	60 P	IR _P %	0 P	60 P	IR _P %
Controle	86,8 bC	181,8 aA	52,3	6,3 bC	23,4 aA	73,0
<i>C. etunicatum</i>	150,7 aB	177,3 aA	15,0	17,4 bB	24,2 aA	46,2
IR _F %	42,4	-2,5	-	63,8	3,1	-
<i>R. clarus</i>	205,0 aA	206,6 aA	0,8	24,8 aA	28,6 aA	-
IR _F %	57,7	12,0	-	75,8	18,1	-
Média geral	168,0			20,8		
C.V. (%)	14,2			14,9		

FMAs	P (mg dm ⁻³)					
	K (mg planta ⁻¹)			Ca (mg planta ⁻¹)		
	0 P	60 P	IR _P %	0 P	60 P	IR _P %
Controle	154,4 bC	301,6 aA	48,8	50,2 bC	75,9 aA	33,8
<i>C. etunicatum</i>	287,0 aB	299,4 aA	4,2	76,1 aB	71,7 aA	-6,1
IR _F %	46,2	-0,7	-	34,0	-5,8	-
<i>R. clarus</i>	347,0 aA	337,9 aA	-2,6	105,0 aA	88,3 bA	-18,9
IR _F %	55,5	10,7	-	52,1	14,0	-
Média	287,9			77,9		
C.V. (%)	10,0			13,8		

FMAs	P (mg dm ⁻³)						
	S (mg planta ⁻¹)			Mg (mg planta ⁻¹)			
	0 P	60 P	IR _P %	0 P	60 P	IR _P %	Média
Controle	9,6 bC	19,7 aA	51,4	18,2	33,8	85,7	25,9 b
<i>C. etunicatum</i>	19,7 aB	18,6 aA	-6,0	30,1	34,2	13,6	32,1 ab
IR _F %	52,1	-5,9	-	65,4	1,2	-	23,9
<i>R. clarus</i>	28,7 aA	22,9 bA	-25,3	36,4	40,7	11,8	38,5 a
IR _F %	66,6	13,8	-	100,0	20,4	-	48,6
Média	19,9			28,2 B	36,1 A	28,0	32,2
C.V. (%)	16,8			18,3			

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): $IR_{F\%} = 100(x-y)/y$, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada); e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: $IR_{P\%} = 100(x-y)/y$, sendo x: com P e y: sem P).

Não houve interação significativa entre os fatores dose e fungo, para os conteúdos de Mg, na parte aérea das plantas de lavanda. Observou-se que a melhor média (38,5 mg planta⁻¹) encontra-se no tratamento micorrízico com a espécie *R. clarus* (Tabela 8). Com relação ao fator dose, os maiores incrementos observados foram de 85,7% (controle) na presença de P (60 mg dm⁻³). Lange (2007) ressalta a ocorrência da inter-relação dos íons de P e Mg, em consequência da necessidade de Mg nas reações de transferência de energia. Segundo Reinbott e Blevins (1994), quando as plantas se encontram supridas em relação ao P, é acrescido tanto a absorção como a concentração de Mg, corroborando o resultado encontrado no presente trabalho, uma vez que a adição de P favoreceu a absorção de Mg.

A potencialidade dos FMAs em favorecer a absorção de nutrientes e proporcionar seu maior acúmulo no tecido vegetal, foi demonstrada por alguns autores, em diferentes espécies de plantas medicinais e aromáticas, cultivadas com baixas quantidades de fósforo no substrato. Trabalhando com hortelã (*Mentha arvensis*), Freitas et al. (2006) observaram que, na ausência de P, os fungos *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita* proporcionaram incrementos de 143 e 123% no conteúdo de N, de 224 e 124% no conteúdo de P, e de 139 e 142% no conteúdo de K, respectivamente.

Heitor (2016) observou que a espécie *G. margarita*, proporcionou aumento significativo na absorção e acúmulo de N e K na parte aérea das plantas de calêndula, independente da adubação fosfatada, e que o conteúdo de P e Ca, foi influenciado significativamente pelas espécies de FMAs e adubação fosfatada, destacando que a espécie *Gigaspora margarita*, na ausência de adubação fosfatada, proporciona maior acúmulo de P. Autores como Chen et al. (2017), afirmam que o aumento na absorção de macronutrientes, principalmente N e P, após a inoculação de FMAs, é altamente importante na produção de hortaliças, frutas e plantas medicinais.

Golubkina et al. (2020) observaram incremento nos teores de fósforo em plantas de *Lavandula angustifolia* inoculadas com FMAs, todavia, as concentrações de K, Na, Mg e Ca, não foram significativas entre as plantas micorrizadas e o controle, sem FMAs. De acordo com os resultados obtidos por Beltrame et al. (2019), a inoculação com FMAs aumentou o P acumulado na parte aérea das plantas da família Lamiaceae em 248%, demonstrando que a inoculação de FMAs é potencialmente benéfica para as culturas desta espécie.

4.4 Teor e conteúdo de óleos essenciais de lavanda

Plantas de *Lavandula dentata*, adubadas com 60 mg dm⁻³ de P e inoculadas com a espécie *R. clarus*, obtiveram incrementos de 209,1% nos teores de óleos essenciais. A ausência da adubação fosfatada juntamente com os tratamentos micorrízicos não apresentaram diferenças estatísticas sobre o teor de óleo essencial, e quanto ao conteúdo, a inoculação com a espécie *R. clarus* demonstrou melhores resultados quando comparados aos demais tratamentos (Tabela 9).

Segundo Vannette e Hunter (2009), corroborando Toussaint (2007), sabe-se pouco sobre a influência dos FMAs no acúmulo e na biossíntese dos metabólitos secundários das plantas, uma vez que esse processo, em plantas medicinais e aromáticas, depende de vários fatores, como: genéticos, fisiológicos, condições ambientais e solo. Ressalta-se ainda que o fósforo é de extrema importância para a biossíntese dos óleos essenciais. De acordo com Mann (2001), os óleos essenciais derivam da rota biossintética do acetato que requer fósforo inorgânico (Pi), uma vez que, o fósforo compõe o Isopentenil Difosfato (IPP) e o Metileritritol Fosfato (MEP), que são as unidades básicas de formação dos óleos essenciais.

Tabela 9: Teor e conteúdo de óleo essencial de lavanda em função dos FMAs e adubação fosfatada

FMAs	Óleo essencial					
	Teor (g 100g matéria seca)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	0 P	60 P	IR _P %	0 P	60 P	IR _P %
Controle	0,18 aA	0,26 aB	44,4	8,76 bB	30,67 aB	250,1
<i>R. clarus</i>	0,22 bA	0,68 aA	209,1	28,46 bA	96,12 aA	237,7
IR _f %	22,2	161,5	-	229,1	213,4	-
<i>C. etunicatum</i>	0,15 bA	0,37 aB	146,7	14,60 bB	42,66 aB	192,2
IR _f %	-16,7	42,3	-	66,7	39,1	-
Média geral		0,31			36,88	
C.V. (%)		24,54			25,42	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05). IR_F% (Incremento relativo à inoculação com FMAs): $[IR_F\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: altura da planta inoculada e y: altura da planta controle (não inoculada); e o IR_P% (Incremento relativo à presença de P) no substrato: $[(IR_P\% = 100(x-y)/y]$, sendo x: com P e y: sem P)].

Carlsen et al. (2008) destaca, em particular, que a biossíntese dos metabólitos secundários pode ser significativamente afetada pela associação simbiótica entre os FMAs e raízes. Nesse sentido, encontram-se muitos trabalhos que atribuem às micorrizas, as alterações quantitativas e qualitativas em várias classes de metabólitos secundários das plantas, como terpenóides e compostos fenólicos (Taiz e Zeiger, 2013; Ritter Neto et al., 2014; Santos et al., 2015); e alcalóides (Pereira, 2015; Monnerat et al., 2018).

Alguns autores têm demonstrado os benefícios da associação micorrízica com plantas aromáticas e medicinais da família Lamiaceae, não só no crescimento, como também na produção de metabólitos secundários (Freitas et

al., 2004; Sailo e Bagyaraj, 2005; Russomano et al., 2008; Coppeta et al., 2007; Carreón-Abud et al., 2015). Também é evidenciada a possibilidade de incrementos significativos de clorofila, antocianinas, polifenóis e, em particular, no teor de óleo essencial em plantas aromáticas (Begum et al., 2019).

No trabalho de Golubkina et al. (2020), o teor de óleo essencial da *Lavandula angustifolia*, inoculadas com FMAs (1,30% ± 0,80), foi superior em relação ao tratamento controle (1,10% ± 0,70), e apenas o acetato de linalil foi significativamente afetado pela FMAs, com incrementos de 34,4%. De acordo com Karagiannidis et al. (2012), a inoculação de *Glomus lamellosum* em plantas de *L. angustifolia* resultou em incrementos de 46,7% de massa seca da planta, e 57% no conteúdo de óleo essencial.

Os resultados de Munhoz e Alberton (2019), corroboram o presente estudo, ao demonstrarem que a espécie *L. alba* apresentou maior rendimento de óleo essencial quando inoculada com *R. clarus*, e adicionado 200 mg de fósforo ao solo. Kapoor et al. (2004) observaram em estudos com funcho (*Foeniculum vulgare* Miller) que a inoculação com FMAs em conjunto com a adição de 20 kg ha⁻¹ de fósforo, proporcionaram aumentos no crescimento, na absorção de P e no teor de óleo essencial, sendo a espécie *G. fasciculatum* responsável por incrementos de 78% na produção de óleo essencial.

Arpana et al. (2008) demonstraram que as onze espécies fúngicas micorrízicas inoculadas em mudas de patchouli (*Pogostemon cablin*), proporcionam maior altura, número de ramos, massa da matéria seca, teor de óleos essenciais e teor de P nas plantas, destacando-se a espécie *C. etunicatum* como a mais promissora para a produção de biomassa e teor de óleo essencial. Freitas et al. (2004), comparando quatro espécies fúngicas em relação às plantas de menta (*Mentha arvensis*) não inoculadas, constataram diferenças significativas entre as espécies fúngicas, com incrementos de 483% (*R. clarus*) e 600% (*C. etunicatum*) no conteúdo de óleos essenciais.

O trabalho desenvolvido por Vieira (2017), em plantas de jambu, demonstra incrementos no conteúdo de óleo essencial de 58% (*R. clarus*) e 65% (*C. etunicatum*), em relação às plantas controle, quando adicionado 90 mg kg⁻¹ de fósforo. Estudando a produção de óleo essencial em plantas inoculadas com FMAs, Karagiannidis et al. (2012) observaram incrementos de 28,75% (*Santolina chamaecyparissus* L.), 55,56% (*Salvia officinalis* L.), 56,95% (*Lavandula*

angustifolia Mill), 53,63% (*Geranium dissectum* L.) e 55,24% (*Origanum dictamnus* L.), em comparação ao tratamento controle.

Alguns estudos demonstram que os FMAs não só influenciam o teor e o rendimento do óleo essencial, como também a qualidade dos óleos essenciais (Mandal et al., 2013; Lermen et al., 2015). Munhoz e Alberton (2019) observaram que os constituintes majoritários dos óleos essenciais das plantas de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*) diferiram de acordo com os tratamentos. As diferentes combinações de inóculo e teor de P proporcionaram variações de componente majoritário como citral, linaloloxide acetate e 35 eraniale.

Segundo Kapoor et al. (2004), o teor de anetol nos óleos essenciais da espécie *Foeniculum vulgare* Miller (funcho) foi maior em plantas micorrizadas. Urcoviche et al. (2015) encontraram maior teor de óleo essencial em plantas de *Mentha crispera* L. inoculadas com *C. etunicatum*, em solos com baixo teor de fósforo, e também observaram que a composição química do óleo essencial foi alterada pelos tratamentos avaliados, sendo possível obter carvona como componente principal, em aproximadamente 80% da composição total do óleo essencial.

Morais (2009) observou que o fósforo contribuiu para o aumento da concentração de atropina, assim como o teor de óleos essenciais, no coentro (*Coriandrum sativum* Leaf) e no funcho (*Foeniculum vulgare* Miller), porém, o seu déficit no solo reduziu a concentração de cumarinas em chamba (*Justicia pectoralis* var *stenophilla*), uma vez que prejudicou a produção de massa da matéria seca, causando uma redução na produção do princípio ativo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes espécies de FMAs no crescimento, composição mineral e produção de óleos essenciais de *Lavandula dentata* L., cultivada na presença e ausência de fósforo. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com arranjo fatorial 2x3: duas doses de fósforo (0 e 60 mg dm⁻³ de solo) e três tratamentos fúngicos (*Rhizophagus clarus*, *Claroideoglossum etunicatum* e controle). O substrato (solo + areia, 1:2 v/v) foi previamente esterilizado. Os inóculos fúngicos foram obtidos do Laboratório de Microbiologia do solo da UENF.

A mudas de lavanda foram produzidas na UENF, por meio de estaquia. Após enraizamento das estacas, elas foram transplantadas para vasos de 3 kg. Aos 120 dias de experimento, o material vegetal foi coletado. Foram mensurados concomitantemente: a altura, diâmetro do caule, peso da matéria fresca da parte aérea, inflorescência e raiz; e a porcentagem de colonização micorrízica. Após a secagem de todo material vegetal, determinou-se a massa da matéria seca da parte aérea e raiz, assim como a extração e quantificação do óleo essencial das plantas, por meio de hidrodestilação, obtendo-se os seguintes resultados:

- Em relação à porcentagem de colonização micorrízica, constatou-se que a espécie fúngica *R. clarus* possui alto potencial infectivo, apresentando

maior compatibilidade com a espécie *L. dentata*, quando comparado com a espécie *C. etunicatum*.

- *R. clarus* e *C. etunicatum* proporcionaram incrementos no crescimento das plantas de lavanda, quando comparado ao tratamento controle, sobressaindo-se a espécie *R. clarus* com os melhores resultados em MFPA, MSPA e MFI.
- Os tratamentos fúngicos, associados à adubação fosfata, proporcionaram incrementos na massa seca da raiz.
- A inoculação com *R. clarus* contribuiu para a maiores incrementos no conteúdo de N, P, K, Ca, e S. Apenas o Mg não teve diferença estatística entre os tratamentos fúngicos.
- O teor e conteúdo de óleos essenciais apresentaram maiores incrementos nas plantas inoculadas com *R. clarus* e na presença de adubação fosfatada. No tratamento sem adição de fósforo, a espécie *C. etunicatum* apresentou menor teor de óleo essencial, comparado ao tratamento controle sem micorriza.

Conclui-se que as plantas de lavanda, quando inoculadas com FMAs, apresentam vantagens em seu cultivo, constatado os benefícios nos incrementos de teor e conteúdo de óleo essencial. As plantas de lavanda apresentaram potencial de cultivo sob as características edafoclimáticas da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ, uma vez que a associação da planta com FMA, permitiu não só o estabelecimento da lavanda, como também o aumento de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamuchio, L. G., Deschamps, C.; Machado, M. P. (2017). Aspectos gerais sobre a cultura da Lavanda (*Lavandula* spp.). *Rev. Bras. Pl. Med.*, São Paulo, v.19, n.4, p.483-490. 10.1590/1983-084X/0574
- Adamuchio, L. G. (2015). pH do meio de cultura e agentes geleificantes na multiplicação *in vitro* de *Lavandula angustifolia* Miller. *Dissertação* (Mestrado em Produção Vegetal) – Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 81p.
- Agostini, F., Santos, A. C. A., Rossato, M., Pansera, M. R., Santos, P.L., Serafini, L. A., Molon, R., Moyna, P. (2009). Essential oil yield and composition of Lamiaceae species growing in Southern Brazil. *Braz Arch Biol Technol.* 52:473-478.
- Allen, M. F. (2001). Modeling arbuscular mycorrhizal infection: is % infection an appropriate variable? *Mycorrhiza.* 10:255-258. 10.1007/s005720000081.
- Alguacil, M. M., Caravaca, F., Azcón, R., Pera, J., Díaz, G., Roldán, A. (2003). Improvements in soil quality and performance of mycorrhizal *Cistus albidus* L. seedlings resulting from addition of microbially treated sugar beet residue to a degraded semiarid Mediterranean soil. *Soil Use and Manage*, 19(4), 277–283.
- An, M., Haig, T., Hatfield, P. (2001). On-site field sampling and analysis of fragrance from living Lavender (*Lavandula angustifolia* L.) flowers by solid-phase microextraction coupling to gas chromatography and ion-trap mass spectrometry. *Journal Chromatography A*, 917(1-2), 245–250.
- Andrade, T. A., Freitas, T. S., Araújo, F. O., Menezes, P. P., Dória, G. A. A., Rabelo, A. S., Quintans-Júnior, L. J., Santos, M. R. V., Bezerra, D. P., Serafini, M. R., Menezes, I. R. A., Nunes, P. S., Araújo, A. A. S., Costa, M. S., Campina, F. F., Santos, A. T. L., Silva, A. R. P., Coutinho, H. D. M. (2017). Caracterização físico-química e atividade antibacteriana de complexos de

inclusão do óleo essencial de *Hyptis martiusii* Benth em β -ciclodextrina. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 89, 201–207
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2017.01.158>

Antoniolli, Z. I.; Kaminski, J. (1991). Micorrizas: revisão bibliográfica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.21, n.3, p.441-455.

Arango, M. C., Ruscitti, M. F., Ronco, M. G., Beltrano, J. (2012). Mycorrhizal fungi inoculation and phosphorus fertilizer on growth, essential oil production and nutrient uptake in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Rev. Bras. Pl. Med.*, Botucatu, 14(4):692-699.

Arpana, J., Bagyaraj, D., Prakasa Rao, E. V. S., Parameswaran, T., Rahiman, B. (2008). Symbiotic response of patchouli (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. to different arbuscular mycorrhizal fungi. *Advances in Environmental Biology*, v. 2, p. 20-24.

Assis, D. M. A. (2015) Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em dunas fluviais e marítimas no Estado da Bahia. *Dissertação* (Mestrado em Biologia de Fungos) – Recife – PB, Universidade Federal de Pernambuco – UFPB, 86p.

Azcón, R., Barea, J. M. (2010). Mycorrhizosphere interactions for legume improvement. In: Khan, M. S., Zaidi, A., Musarrat, J. (eds) *Microbes for legume improvement*, 1st edn. Springer, New York, pp 237-271.

Azcón-Aguilar, C., Barea, J. M. (1997). Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Sci Horticult.* 68: 1–24.

Bagamboula, C. F., Uyttendaele, M., Debevere, J. (2004). Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cimene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiology*, 21: 33–42.

Bakkali-Yakhlef, S. E., Abbas, Y., Prin, Y., Abourouh, M., Perrineau, M. -M., Duponnois, R. (2011). Effective arbuscular mycorrhizal fungi in the roots of *Tetraclinis articulata* and *Lavandula multifida* in moroccan *Tetraclinis* woodlands. *Mycology*, 2: 79-86. <http://dx.doi.org/10.1080/21501203.2011.565486>

Balota, E. L., Machineski, O., Stenzel, N. M. C. 2011. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. *Bragantia*, 70(1):166-175.

Barea, J. M., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez-Castro, I., Navarro-Fernández, C., López-García, A., Estrada, B., Azcón, R., Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C. (2011). Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. *Journal of Arid Environments* 75: 1292-1301. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.001>

- Basílio, L. S. P. Lavanda – Lavoura colorida, perfumada e rentável. *Revista campo e negócios*, 2019. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/lavanda-lavoura-colorida-perfumada-e-rentavel/> Acesso em: 03 de junho de 2020.
- Batista, M. A. V., Prado, R. de. M., Leite, G. A. (2011) Resposta de mudas de goiabeira a aplicação de fósforo. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 27(4): 635-641.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf. M., Ahmed, N., Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. DOI: 10.3389/fpls.2019.01068
- Beltrame, S. R., Cruz, R. M. S., Lourenço, E. L. B., Alberton, O. (2019). Meta-analysis of Lamiaceae and Euphorbiaceae medicinal plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Australian Journal of Crop Science*, 13(04):588-598.
- Berbara, R. L. L., Souza, F. A., Fonseca, H. M. A. C. (2006). III - Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. *In: Fernandes, M. S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBCS, p.53-88.
- Biasi, L. A., Deschamps, C. (2009). *Plantas aromáticas do cultivo à produção de óleo essencial*. Curitiba: Layer Studio, 160p.
- Bienvenu, F. (2009). Lavander growing for oil production. *Agriculture Notes*.
- Butnariu, M., Sarac, I. (2018). Essential Oils from Plants. *Journal of Biotechnology and Biomedical Science*, 1(4): Pg. no.35. 10.1302/issn.2576-6694.jbbs-18-2489
- Canton, G. C. Efeito do manganês sobre a ecofisiologia e bioquímica de ectomicorrizas. (2012). *Dissertação* (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) – Vila Velha – ES. Universidade de Vila Velha – UVV, 61p.
- Carlsen, S. C. K., Understrup, A., Fomsgaard, I. S., Mortensen, A. G., Ravnskov, S. (2008). Flavonoids in roots of white clover: interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and a pathogenic fungus. *Plant Soil*, 302:33-43.
- Carneiro, R. F. V., Cardozo Júnior, F. M., Pereira, I. f., Araújo, A. S. F., Silva, G. A. (2012) Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, 43(4):648-657.
- Carrenho, R., Gomes-da-Costa, S. M., Balota, E. L., Colozza-Filho, A. (2010). Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. *In: Siqueira, J. O., Souza, F. A., Cardoso, E. J. B. N. TSAI, S. M., eds. Micorrizas 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.154-214.

- Carreón-Abud, Y., Torres-Martínez, R., Farfán-Soto, B., Hernández-García, A., Ríos-Chávez, P., Bello-González, M. Á., Martínez-Trujillo, M., Salgado-Garciglia, R. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases the content of volatile terpenes and plant performance in *Satureja macrostema* (Benth.) Briq. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 14 (4): 273-279.
- Cavagnaro, T. R. (2008). The role of arbuscular mycorrhizas in improving plant zinc nutrition under low soil zinc concentrations: a review. *Plant Soil*, 304, 315–325. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9559-7>
- Cavalcante, U. M. T., Maia, L. C., Melo, A. M. M., Santos, V. F. (2002). Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.5, p. 643-49.
- Cavanagh, M. A., Wilkinson, J. M. (2002). Biological Activities of Lavender Essential Oil. H. *Phytother. Res.*16, 301–308.
- Chandrasekaran, M., Kim, K., Krishnamoorthy, R., Walitang, D., Sundaram, S., Joe, M. M., Selvakumar, G., Hu, S., Oh, S., Sa, T. (2016). Mycorrhizal symbiotic efficiency on C₃ and C₄ plants under salinity stress – a meta-analysis. *Front Microb.*, 7:1-13.
- Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z., Jiang, Y., Liu, A., Zhao, P., Wang, M., Ahammed, G. J. (2017). Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. *Front. Microbiol.*, 8:2516.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N. (2016). Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83, 577-586.
- Colodete, C. M., Dobbss, L. B., Ramos, A. C. (2014). Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. *Natureza on line* 12(1):31-37.
- Conversa, G. (2015). Influence of biochar, mycorrhizal inoculation, and fertilizer rate on growth and flowering of *Pelargonium zonale* L.) plants. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00429>
- Copetta, A., Lingua, G., Bardi, L., Masoero, G., Berta, G. (2007). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and essential oil composition in *Ocimum basilicum* var. Genovese. *Caryologia*, 60:110-116.
- Cruz, R. M. S., Marchi, B. A., Souza, B. C., Souza, J. S., Beltrame, S. R., Alberton, O. (2017). Crescimento de *Ruta graveolens* L. inoculada com micorrizas sob doses de fósforo. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar*, 20(1):23-27. doi: 10.25110/arqvet.v20i1.2017.6316.

- David, E. F. S., Boaro, C. S. F. Marques, M. O. M. (2006). Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8:183-188.
- Daferera, D. J., Ziogas, B. N., Polissiou, M. G. (2000). GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *J. Agric. Food. Chem.* 48:2576-2581.
- DAIS, Directorate Agricultural Information Services – Department of agriculture, Forestry and Fisheries South Africa. *Lavender Production*. 2009.
- Damião Filho, C. F. (1993). *Morfologia Vegetal*. Jaboticabal: FUNEP/ UNESP, 243p.
- Demissie, Z. A., Sarker, L. S., Mahmoud, S. S. (2011). Cloning and functional characterization of β -phellandrene synthase from *Lavandula angustifolia*. *Planta* 233, 685–696.
- Dob, T., Dahmane, D., Tayeb, B., Chelghoum, C. (2005). Chemical composition of the essential oil of *Lavandula dentata* L. from Algeria. *International Journal of Aromatherapy*, 15(2):110-114. doi:10.1016/j.ijat.2005.03.010
- Dustin, C. D., Cooper-Driver, G. A. (1992). Changes in phenolic production in the hay-scented fern (*Dennstaedtia punctilobula*) in relation to resource availability. *Biochemistry Systemic Ecology*, United Kingdom, v.20, n.3, p.99-106.
- Erbas, S., Kucukyumuk, Z., Baydar, H., Erdal, I., Sanli, A. (2017). Effects of different phosphorus doses on nutrient concentrations as well as yield and quality characteristics of lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Super). *Turkish Journal of Field*, 22(1):32-38.
- Ferreira, J. L. S., Cavalcante, J. N. M., Siqueira, D. S., Bezerra, R. V., Delgado, L. A., Oliveira, H. M. B. F., Vieira, E. S. S., Maia, G. L. A., Lima, E. O., Filho, A. O. (2019). Comparação da atividade antifúngica do extrato aquoso e do extrato etanólico de *Rhaphiodon Echinus* (Lamiaceae) contra cepas *Candida Tropicalis*. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*. v.17. n.1. jan./jul.
- Figueiredo, A. R.; Morais, L. A. S. (2019). Composição química do óleo essencial de *Lavandula dentata* adaptada às condições climáticas do Brasil. XIX Semana Científica Johanna Döbereiner. Bioeconomia: Diversidade e Riqueza para o Desenvolvimento Sustentável.
- Figuêiredo, F. R. S. D. N., Monteiro, Á. B., Menezes, I. R. A., Sales, V. D. S., Nascimento, E. P., Rodrigues, K. S., Primo, A. J. B., Cruz, P., Amaro, É. D. N., Delmondes, G. A., Nóbrega, J. P. L. O. S., Lopes, M. J. P., Costa, J. G. M., Felipe, C. F. B., Kerntopf, M. R. (2019). Effects of the *Hyptis martiusii* Benth. leaf essential oil and 1,8-cineole (eucalyptol) on the central nervous system of mice. *Food and Chemical Toxicology*, v. 133.

- Flores-Aylas, W. W., Saggin-Júnior, O. J., Siqueira, J. O., Davide, A. C. (2003). Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(2):257-266.
- Flores, G., Blanch, G. P., Ruiz del Castillo, M. L., Herraiz, M. (2005). Enantiomeric composition studies in *Lavandula* species using supercritical fluids. *Journal of Separation Science*, 28(17), 2333–2338. doi:10.1002/jssc.200500124
- Freitas, M. S. M.; Martins, M. A.; Carvalho, A. J. C. (2006). Crescimento e composição da menta em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada. *Horticultura Brasileira*, v. 24, p.11-16.
- Freitas, M. S. M.; Martins, M. A.; Curcino, V.I. J. (2004). Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesq. Agropec. Br.* 39: 887 - 894.
- Geneva, M. P., Stancheva, I. V., Boychinova, M. M., Mincheva, N. H., Yonova, P. A. (2010). Effects of foliar fertilization and arbuscular mycorrhizal colonization on *Salvia officinalis* L. growth, antioxidant capacity, and essential oil composition. *J. Sci. Food Agric.* 90:696-702.
- Gerdemann, J. W., Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, London, 46(2):235-244.
- Gilani, A. H., Aziz, N., Khan, M. A., Shaheen, F., Jabeen, Q., Siddiqui, B. S., Herzig, J. W. (2000). Ethnopharma-cological evaluation of tee anticonvulsant, sedative and antispasmodic activities of *Lavandula stoechas* L. *Journal of Etnopharmacology*, 71(1-2):161-167.
- Godoy, R., Marín, C. (2019). Mycorrhizal Studies in Temperate Rainforests of Southern Chile. In: Pagano M., Lugo M. (eds) Mycorrhizal Fungi in South America. *Fungal Biology*. Springer, Cham.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A., Caruso, G. (2020). Yield, Essential Oil and Quality Performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as Affected by Arbuscular Mycorrhizal Fungi under Organic Management. *Plants*, 9(3):375. doi:10.3390/plants9030375
- González-Chávez, A. A., Ferrera-Cerrato, R. (2007). Biodiversidad funcional de los hongos micorrízicos arbusculares en zonas áridas y semiáridas functional biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in arid and semiarid areas. Montaña, N. M., Camargo Ricalde, S.L., García-Sánchez, R., Monroy, A. (Eds.). *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (arbuscular mycorrhizae in arid and semiarid ecosystems)*. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, UAM-Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México. 460 p.

- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113:17–35.
- Gosling, P. Mead, A., Proctor, M., Hammond, J. P., Bending, G. D. (2013). Contrasting arbuscular mycorrhizal communities colonizing different host plants show a similar response to a soil phosphorus concentration gradient. *New Phytologist*, 198: 546–556.
- Grant, C. A., Flaten, D. N., Tomaszewicz, D. J., Sheppard, S. C. (2001). A importância do fósforo no crescimento inicial da planta. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, 95:1-5.
- Heitor, L. C. Freitas, M. S. M., Brito, V. N., Carvalho, A. J. C., Martins, M. A. (2016). Crescimento e produção de capítulos florais de calêndula em resposta à inoculação micorrízica e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 34: 026-030.
- Helgason, T., Merryweather, J. W., Young, J. P. W., Fitter, A. H. (2007). Specificity and resilience in the arbuscular mycorrhizal fungi of a natural woodland community. *Journal of Ecology*, 95(4), 623–630. doi:10.1111/j.1365-2745.2007.01239.x .
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I. (1950). The waterculture method for growing plants without soil. Berkeley, CA: *Agric. Exp. Stn.*, Univ. of California. (Circ. 347).
- Hodge, A. (2000). Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. *Microbiology Ecology*, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 91-96.
- Hudaib, M., Speroni, E., Di Pietra, A. M., Cavrini, V. (2002). CG/EM evaluation of thyme (*Thymus Vulgaris* L.) oil composition and variations during the vegetative cycle. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Bologna, Italy. 29(4):691-700.
- Imelouane, B. et al. (2009). Physico-Chemical Compositions and Antimicrobial Activity of Essential Oil of Eastern Moroccan *Lavandula dentata*. *Int. J. Agric. Biol.*, 11: 113–118.
- INVAM - International culture collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Disponível em: <[http:// invam.caf.wvu.edu](http://invam.caf.wvu.edu)>. Acesso em: 1 de dez. de 2019.
- Jackson, M. L. (1965). Soil chemical analysis. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Jakobsen, I.; Hammer, E. C. (2015). Nutrient dynamics in arbuscular mycorrhizal networks. In: *Mycorrhizal Networks*, Horton, T. R., ed. (Springer Netherlands), pp. 91–131.
- Ji, B., Bever, J. D. (2016). Plant preferential allocation and fungal reward decline with soil phosphorus: implications for mycorrhizal mutualism. *Ecosphere*, 7:e01256.

- Johri, A. K., Oelmüller, R., Dua, M., Yadav, V., Kumar, M., Tuteja, N., Varma, A., Bonfante, P., Persson, B. L., Stroud, R. M. (2015). Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects. *Frontiers in Microbiology*, 6:984. doi:10.3389/fmicb.2015.00984
- Monte-Júnior, I. P. (2017). Fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) e espécies de maracujazeiro (*Passiflora* L.): relação entre filogenia dos fungos e compatibilidade funcional. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Recife – PE, Universidade Federal de Pernambuco, 110p.
- Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K. G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresour. Technol.*, 93:307-311.
- Karagiannidis, N., Thomidis, T., Panoufilotheou, E. (2012). Effects of *Glomus lamellosum* on growth, essential oil production and nutrients uptake in selected medicinal plants. *Journal of Agricultural Science*, 4:137-144.
- Kiriachek, S. G., Azevedo, L. C. B., Peres, L. E. P., Lambais, M. R., (2009). Regulação do desenvolvimento das micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1-16.
- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., Novak, J. (2006). Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza*, 16(6), 443–446. doi:10.1007/s00572-006-0062-9
- Kim, S. J., Eo, J.-K., Lee, E.-H., Park, H., Eom, A.-H. (2017). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Conditions on Crop Plant Growth. *Mycobiology*, 45(1):20–24. doi:10.5941/myco.2017.45.1.20
- Koide, R. T., Mosse, B. A. (2004). History of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14:145-163.
- Koske, R. E., Gemma, J. N. (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, Cambridge, 92:488-505.
- Lange, J. L. (2007). Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia. *Dissertação* (Mestrado em Agronomia). 78p. Piracicaba, SP.
- Lermen, C., Morelli, F., Gazim, Z. C., Silva, A. P., Gonçalves, J. E., Dragunski, D. C., Alberton, O. (2015). Essential oil content and chemical composition of *Cymbopogon citratus* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of lead. *Industrial Crops and Products*, 76:734-738. doi:10.1016/j.indcrop.2015.07.009
- Machado, M. P., Ciotta, M. N., Deschamps, C., Zanette, F., Côcco, L. C., Biasil, A. (2013). Propagação in vitro e caracterização química do óleo essencial de

- Lavandula angustifolia* cultivada no Sul do Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, 43(2):283-289.
- Magalhães, D. V., Silva, A. G., Souza, R. F., Bittar, D. Y. (2019). Produção de rúcula em função de diferentes dosagens de fósforo. *Ipê Agronomic Journal*, 3(2):70-76.
- Mambrí, A. P. S. (2016). *Lavandula dentata* L. sob o efeito da radiação solar e de diferentes épocas de colheita. *Dissertação* (Mestrado em Agrobiologia) – Santa Maria, RS – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 75p.
- Mandal, S., Evelin, H., Giri, B., Singh, V. P., Kapoor, R. (2013). Arbuscular mycorrhiza enhances the production of stevioside and rebaudioside-A in *Stevia rebaudiana* via nutritional and non-nutritional mechanisms. *Applied Soil Ecology*, 72:187-194. doi:10.1016/j.apsoil.2013.07.003
- Mann, J. (2001). *Secondary metabolism*. 2 ed. Oxford: Oxford Science, 374p.
- Mariutti, L. R. B., Bragagnolo, N. (2007). Revisão: antioxidantes naturais família Lamiaceae – Aplicação em produtos alimentícios. *Brazilian Journal of Food Technology*. 10:96-103.
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.
- Martins, M. B. G. (2002). Estudos de microscopia óptica e de microscopia eletrônica de varredura em folhas de *Mentha spicata* e de *Mentha spicata x suaveolens* (Lamiaceae). *Bragantia*, Campinas, 61(3):205-218.
- Martins, R. P. (2018). Caracterização química e avaliação da atividade antimicrobiana de óleos essenciais de *Lavandula dentata* L. *Dissertação* (Mestrado Profissional em Inovação Científica) – Uberaba, MG. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 72p.
- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M., Azcón, R. (2007). Drought Tolerance and Antioxidant Activities in Lavender Plants Colonized by Native Drought-tolerant or Drought-sensitive *Glomus* Species. *Microbial Ecology*, 54(3):543-552. doi:10.1007/s00248-007-9237-y
- Masetto, M. A. M., Deschamps, C., Mógior, A. F., Bizzo, H. R. (2011). Teor e composição do óleo essencial de inflorescências e folhas de *Lavandula dentata* L. em diferentes estádios de desenvolvimento floral e épocas de colheita. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 13(4):413-421. doi:10.1590/s1516-05722011000400007
- McNaughton V. (2006). *Lavender: the grower's guide*. Portland (USA): Timber Press, 192 p.

- Miranda, J. C. C., Harris, P. J. (1994). The effect of soil phosphorus on the external mycelium growth of arbuscular mycorrhizal fungi during the early stages of mycorrhiza formation. *Plant Soil*, 166:271-280.
- Miranda, J. C. C.; Harris, P. J.; Wild, A. (1989). Effects of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. *New Phytol.*, 112:405-410.
- Moon, T., Wilkinson, J. M., Cavanagh, H. M. (2006). Antiparasitic activity of two *Lavandula* essential oils against *Giardia duodenalis*, *Trichomonas vaginalis* and *Hexamita inflata*. *Parasitology Research*, 99(6):722-8.
- Monnerat, C. S., Freitas, M. S. M., Vieira, I. J. C., Martins, M. A., Carvalho, A. J. C., Santos, P. C., Lima, T. C. (2018) Ajmalicine Bioproduction in *Catharanthus Roseus* (L) G. Don Inoculated with Arbuscular Mycorrhiza and Fertilized with Nitrogen. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42:e0170057.
- Morais, L. A. S. (2009). Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Hort. Bras.* 27:S4050-S4063
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, MG: Editora UFLA, 729p.
- Munhoz, C. L.; Alberton, O. (2019). Respostas das plantas medicinais aos fungos micorrízicos arbusculares *Cymbopogon citratus* e *Lippia alba*. Copyright © International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group.
- Nell, M., Vötsch, M., Vierheilig, H., Steinkellner, S., Zitterl-Eglseer, K., Franz, C., Novak, J. (2009). Effect of phosphorus uptake on growth and secondary metabolites of garden sage (*Salvia officinalis*L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(6):1090–1096. doi:10.1002/jsfa.3561
- Newman, E. I. (1988). Mycorrhizal links between plants: Their functioning and ecological significance. *Adv. Ecol. Res.*, 18:243-270.
- Nisha, M. C., Rajeshkumar, S. (2010). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrition of *Wedelia chinensis* (Osbeck) Merril. *Indian Journal of Science and Technology* 3:676-678
- Nogueira, J. M. F., Romano, A. (2002). Essential oils from micropropagated plants of *Lavandula viridis*. *Phytochem Anal.*, 13:4-7.
- Nogales, A., Aguirreolea, J., Maria, E. S., Camprubi, A., Calvet, C. (2009). Response of mycorrhizal grapevine to *Armillaria mellea* inoculation: disease development and polyamines. *Plant and Soil*, 317:177-187.
- Oliveira, A. P., Guimarães, A. L., Pacheco, A. G. M., Araújo, C. S., Oliveira Júnior, R. G., Lavora, É. M., Silva, M. G., Araújo, E. C. C., Mendes, R. L. , Larissa A. Rolima , Marcília P. Costac , Henrique C. L. Fariasd,e, Cláudia do Ó

- Pessoad,e, Norberto P. Lopesf , Lucas M. M. Marquesf e Jackson R. G. S. Almeida. (2016). Estudo fitoquímico, atividade antimicrobiana e citotóxica de espécimes de *Leonotis nepetifolia* L.R. (Br). *Química Nova*. 39:32-37
- Oliveira, A. S. (2017). Atividade anti-inflamatória, antinociceptiva e antioxidante do extrato etanólico de *Leonurus sibirucus* L. (lamiaceae). Dissertação (mestrado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal de Sergipe, 2017. 77 f.
- Parreiras, N. S. (2014). Nitrogênio e fósforo no crescimento, nutrição, produção de óleo essencial e anatomia foliar de *Lippia organoides*. *Dissertação* (Mestre em Produção Vegetal). Universidade Estadual De Santa Cruz. Ilhéus – BA.
- Pedone-Bonfim, M. V. L. Nascimento, D. A., Silva, D. K. A., Yano-Melo, A. M., Maia, L. C. (2015). Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de *Erythrina velutina* Willd em solo com diferentes doses de fósforo. *XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Centro de Convenções, Natal/RN.
- Pereira, J. A. P. (2015). Fósforo e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na produção de capsaicinoides em pimenta (*Capsicum annum* L. var. annum). *Tese* (Doutorado – Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 115p.
- Peters, J. B. (2007). Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI.
- Pitaro, S.P., Fiorani, L. V., Jorge, N. (2012). Potencial antioxidante dos extratos de manjeriço (*Ocimum basilicum* Lamiaceae) e orégano (*Origanum vulgare* Lamiaceae) em óleo de soja. *Rev. bras. plantas med.* 14(4):686-691. doi.org/10.1590/S1516-05722012000400017.
- Portugal, E. P., Quitério, G. C. M., Honório, S. L. Seleção de Fungos Micorrízicos Arbusculares para Estévia, *Stevia Rebaudiana* (bert.) Bertoni. (2006). *Construindo a história dos produtos naturais*. n. 7.
- Pouyú-Rojas, E., Siqueira, J. O., Santos, J. G. D. (2006). Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*. 30:413-424.
- Prado, R. M., Vale, D. W., Romualdo, L. M. (2005). Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 27(3):493-498.
- Raij, B. V. (2011). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. *International Plant Nutrition Institute*, Piracicaba, Brasil. 420 p.
- Ramezani, S., Rezaei, M. R., Sotoudehnia, P. (2009). Improved growth, yield and essential oil content of basil grown under different levels of phosphorus sprays in the field. *J. Appl. Biol. Sci*, 3(2):96-101.

- Rehan, T., Tahira, R., Rehan, T., Bibi, A., Naeemullah, M. (2014). Screening of seven medicinal plants of family Lamiaceae for total phenolics, flavonoids and antioxidant activity. *Pakhtunkhwa J Life Sci.* 02:107-117.
- Reinbott, T. M.; Blevins, D. G. (1994). Phosphorus and temperature effects on magnesium, calcium, and potassium in wheat and tall fescue leaves. *Agronomy Journal*, Madison, v.86, p.523-529.
- Riter Netto, A. F., Freitas, M. S. M., Martins, M. A., Carvalho, A. J. C., Vitorazi Filho, J. A. (2014). Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na bioprodução de fenóis totais e no crescimento de *Passiflora alata* Curtis. *Rev. bras. plantas med.* 16(1):1-9.
- Rodrigues, L. A., Barroso, D. G., Figueiredo, F. A. M. M. A. (2018). Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L. F. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 28(1):25-34.
- Rodrigues, C. R., Faquin, V., Trevisan, D., Pinto, J. E. B. P., Bertolucci, S. K. V., Rodrigues, T. M. (2004). Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e épocas de coleta. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 22(3):573- 578.
- Ruíz-Lozano J. M. Porcel, R., Azcón, C., Aroca, R. (2012). Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11):4033–4044.
- Russomanno, O. M. R., Kruppa, P. C., Minhoni, M. T. A. (2008). Influência de fungos micorrízicos arbusculares no Desenvolvimento de plantas de alecrim e manjerição. *Arq. Inst. Biol.*, 75(1):37-43.
- Saharkhiz, M. J., Omidbaigi, R. (2008). The Effect of Phosphorus on the Productivity of Feverfew (*Tanacetum parthenium* (L.) Schultz (Bip). *AENCL.*, 2(2):63-67.
- Sailo, G. L., Bagyaraj, D. J. (2005). Influence of different AM-fungi on the growth, nutrition and forskolin content of *Coleus forskohlii*. *Mycological Research*, 109 (7):795–798.
- Saldanha, E. C. M., Silva Júnior, M. L., Alves, J. D. N., Mariano, D. C., Okumura, R. S. O. (2017). Consórcio milho e feijão-de-porco adubado com NPK no nordeste do Pará. *Global Science and technology*. 10(01):20-28.
- Sales, H. J. S. P. (2015). *Lavandula* L. - aplicação da cultura in vitro à produção de óleos essenciais e seu potencial económico em Portugal. *Rev. Bras. Pl. Med.*, 17(4):992-999.
- Sanders, I. R. (2002). Ecology and evolution of multigenomic arbuscular mycorrhizal fungi. *American Naturalist*, 160:128-141.

- Santos, E. L., Silva, F. A., Silva, F. S. B. (2015). Fungo micorrízico arbuscular (FMAs) maximiza a produção de taninos totais na casca do caule de pau-ferro, em condições de campo. *Anais, XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Natal-RN.
- Santos, T. L. (2014). Crescimento, colonização micorrízica e avaliação do Teor de óleo essencial de *Pogostemon cablin* (Blanco) benth. em resposta a adubação com pó de rocha e efluente de Biodigestor. *Dissertação* (Mestrado em Produção Vegetal). Ilhéus – Bahia, Universidade Estadual de Santa Cruz, 49p.
- Schumacher, M. V., Brun, E. J., Rodrigues, L. M., Santos, E. M. (2003). Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, Viçosa, 27(6):791-798.
- Sellami, I. H., Maamouri, E., Chahed, T., Wannas, W. A., Kchouk, M. E., Marzouk, B. (2009). Effect of growth stage on the content and composition of the essential oil and phenolic fraction of sweet marjoram (*Origanum majorana* L.). *Industrial Crops and Products*, 30(3):395–402. doi:10.1016/j.indcrop.2009.07.010
- Sgrott, A., Booz, M., Pescador, R., Heck, T., Stürmer, S. (2012) Arbuscular mycorrhizal inoculation increases biomass of *Euterpe edulis* and *Archontophoenix alexandrae* after two years under field conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1103-1112.
- Silva, C. F., Mendes, M. P., Almeida, V. V., Michels, R. N., Sakanaka, L. S., Tonin, L. T. D. (2016). Parâmetros de qualidade físico-químicos e avaliação da atividade antioxidante de folhas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae) submetidas a diferentes processos de secagem. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 18(1):48–56. doi:10.1590/1983-084x/15_021
- Silva, S. M. (2015). Sistemas agrícolas e adubação na biomassa e óleo essencial de lavanda (*Lavandula dentata* L.). *Tese* (Doutorado em Fitotecnia). Uberlândia – MG, Universidade Federal de Uberlândia, 111p.
- Silva, S. M., Luz, J. M. Q., Nogueira, P. A. M., Blank, A. F., Sampaio, T. S., Pinto, J. A. O., Wisniewski, A. (2017). Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). *Industrial Crops and Products*, 103:133–140. doi:10.1016/j.indcrop.2017.04.004
- Silva, V. C. (2012). Influência de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção de óleo essencial em *Mentha x Piperita* L. Var. *citrate* (ehrh.) Briq. *Dissertação*. (Mestrado em produção vegetal) – Ilhéus – BA, Universidade Estadual de Santa Cruz, 84p.
- Silva-Flores, P. G., Pérez-López, L. A., Rivas-Galindo, V. M., Paniagua-Vega, D., Galindo-Rodríguez, S. A., Álvarez-Román, R. (2019). Simultaneous GC-FID quantification of main components of *Rosmarinus officinalis* L. and *Lavandula*

dentata essential oils in polymeric nanocapsules for antioxidant application. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1-9.

- Silveira, J. C., Busato, N. V., Costa, A. O. S., Costa Junior, E. F. (2012). Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. *Enciclopédia Biosfera*, 8(5):2038-2052.
- Simões, C. M. O., Schenkel, E. P., Gosmann, G., Mello, J. C. P., Mentz, L. A., Petrovick, P. R. (2010). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS: Florianópolis: Editora da UFSC, 1104p.
- Simões, C. M. S., Spitzer, V. (2001). Óleos voláteis. In: Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P.; Gosmann, G.; De Mello, J. C. P.; Mentz, L. A.; Petrovick, P. R. (Orgs). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 5ª ed, revisada e ampliada: Porto Alegre/Florianópolis. Editora da UFSC/Editora da UFRGS.
- Siqueira, J. O. (1991). Fisiologia e bioquímica de micorrizas vesículo-arbusculares: alguns aspectos da relação fungo-planta e absorção de fósforo. In: Reunião brasileira sobre micorrizas, 1991, Mendes-R J. (*Programa e Resumos*), EMBRAPA/CNPBS-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1991, 204 p. p. 105-131
- Siqueira, J. O., Saggin-Júnior, O. J. (2001). Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. *Mycorrhiza*, 11:245–255.
- Smith, S. E., Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Califórnia: Academic Press. 605p.
- Souza, F. A., Gomes, E. A., Vasconcelos, M. J. V., Sousa, S. M. (2011). *Micorrizas arbusculares: perspectivas para aumento da eficiência de aquisição de fósforo (P) em Poaceae (gramíneas)*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Souza, G. S., Oliveira, U. C., Silva, J. S., Lima, J. C. (2013). Crescimento, produção de biomassa e aspectos fisiológicos de plantas de *Mentha piperita* L. cultivadas sob diferentes doses de fósforo e malhas coloridas. *Glob Sci Technol*. 6:35-44.
- Stürmer, S. L., Melloni, R., Caproni, A. L. (2010). Micorrizas arbusculares em dunas marítimas e em áreas de mineração. In: Siqueira, J.O. *et al. Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras: Editora UFLA, 2010. Cap. 11. Pág. 341.
- Sugai, M. A. A., Collier, L. S., Saggin-Júnior, O. J. (2011). Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. *Bragantia*, 70(2):416-423.
- Suga, T., Endo, T. (1991). Geranyldiphosphate synthase in leaves of *Pelargonium roseus*. *Phytochemistry*, 30: 1757-1761.

- Taiz, L., Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 918p.
- Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., Cillis, F., Mastro, G. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 102:144-153.
- Tomazelli, D. (2019). Resposta de mudas de erva-mate a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. *Dissertação* (Mestrado em Ciência do Solo) – Lages, SC – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 76p.
- Toussaint, J. P., Smith, F. A., Smith, S. E. (2007). Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. *Mycorrhiza*, 17:291–297.
- Truber, P. V., Fernandes, C. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungal communities and soil aggregation as affected by cultivation of various crops during the sugarcane fallow period. *Revista Brasileira Ciência Solo*. 38:415-422
- Urcoviche, R. C., Gazim, Z. C., Dragunski, D. C., Barcellos, F. G., Alberton, O. (2015). Plant growth and essential oil content of *Mentha crispera* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of phosphorus. *Industrial Crops and Products*, 67:103–107. doi:10.1016/j.indcrop.2015.01.016
- Upton, T., Andrews, S. (2004). *The Genus Lavandula*. Kew (Royal Botanic Gardens): Timber Press, 442p.
- Valentine, A. J., Mortimer, P. E., Kleinert, A., Kang, Y., Benedito, V. A. (2013). Carbon metabolism and costs of arbuscular mycorrhizal associations to host roots. *Symbiotic Endophytes*. Vol 37. Ed. Ricardo Aroca.
- Vannette, R. L., Hunter, M. D. (2009). Mycorrhizal fungi as mediators of defence against insect pests in agricultural systems. *Agricultural and Forest Entomology*, 11(4):351–358. doi:10.1111/j.1461-9563.2009.00445.x
- Vieira, M. E. (2017). Micorrizas arbusculares e fósforo em jambu (*Acmella oleracea*) (L) R. K Jansen. *Dissertação* (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes, RJ – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 67p.
- Whiteside, M. D., Werner, G. D. A., Caldas, V. E. A., van't Padje, A., Dupin, S. E., Elbers, B., Bakker, M., Wyatt, G. A. K., Klein, M., Hink, M. A., Postma, M., Vaitla, B., Noë, R., Shimizu, T. S., West, S. A., Kiers, E. T. (2019). Mycorrhizal Fungi Respond to Resource Inequality by Moving Phosphorus from Rich to Poor Patches across Networks. *Current Biology* 29:2043–2050.
- Wright, S. F., Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198:97–107.

- Volpin, H., Elkind, Y., Okon, Y., Kapulnik, Y. (1994). A vesicular arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradix*) induces a defense response in alfafa roots. *Plant Physiology*, 104:683-689.
- Woronuk, G., Demissie, Z., Rheault, M., Mahmoud, S. (2010). Biosynthesis and Therapeutic Properties of *Lavandula* Essential Oil Constituents. *Planta Medica*, 77(01):7–15. doi:10.1055/s-0030-1250136
- Yoneda, J. D., Leal, K. Z., Seidl, P. R., Azeredo, R. B. de V., Kleinpeter, E. (2007). Cânfora: um bom modelo para ilustrar técnicas de RMN. *Química Nova*, 30(8):2053-2056. doi:10.1590/s0100-40422007000800043
- Zangaro, W., Moreira, M. (2010). Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária. In: SIQUEIRA, J. O. *et al.* *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: Editora UFLA, 2010. Cap. 9. Pág.279.
- Zeng, Y., Guo, L.-P., Chen, B.-D., Hao, Z.-P., Wang, J.-Y., Huang, L.-Q., Yang, G., Cui, X.-M., Yang, L., Wu, Z.-X., Chen, M.-L., Zhang, Y. (2013). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and active ingredients of medicinal plants: current research status and prospectives. *Mycorrhiza*, 23(4):253-265. doi:10.1007/s00572-013-0484-0
- Zonta, E. P., Machado, A. A., Silveira Junior, P. (1984) *Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST)*. Pelotas: UFP, 151p.

APÊNDICE



Figura 1A. Preparo do substrato.

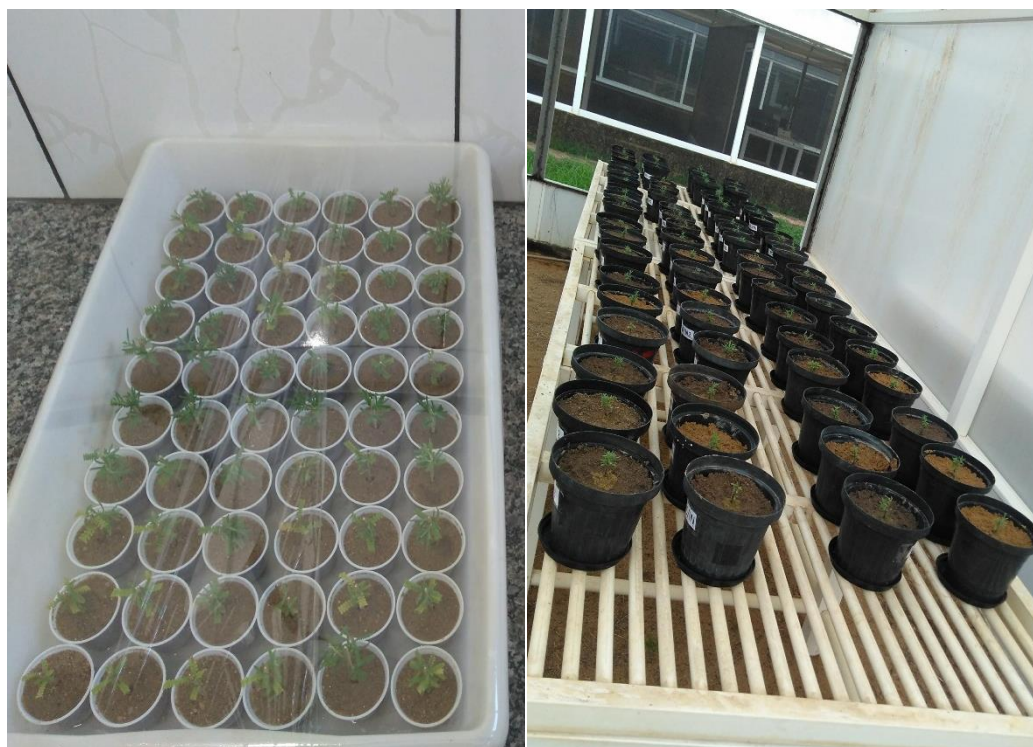


Figura 2A. Estacas de lavanda. Transplântio das estacas após 35 dias.



Figura 3A. Medições de crescimento de lavanda.

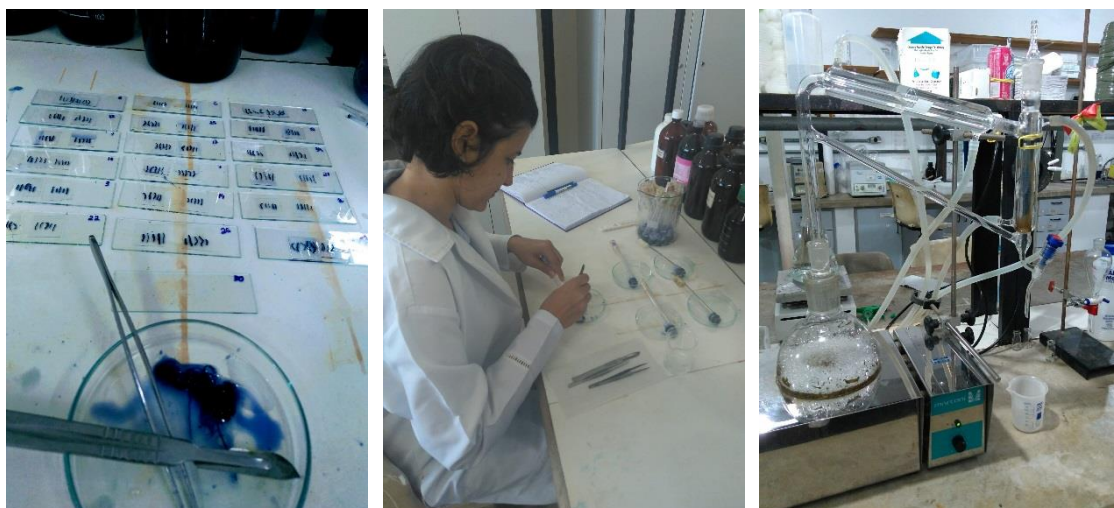


Figura 4A. Preparo das raízes para análise de PCM (1 e 2). Extração do óleo essencial de lavanda.



Figura 5A. Plantas de lavanda em casa de vegetação 120 dias após replantio.

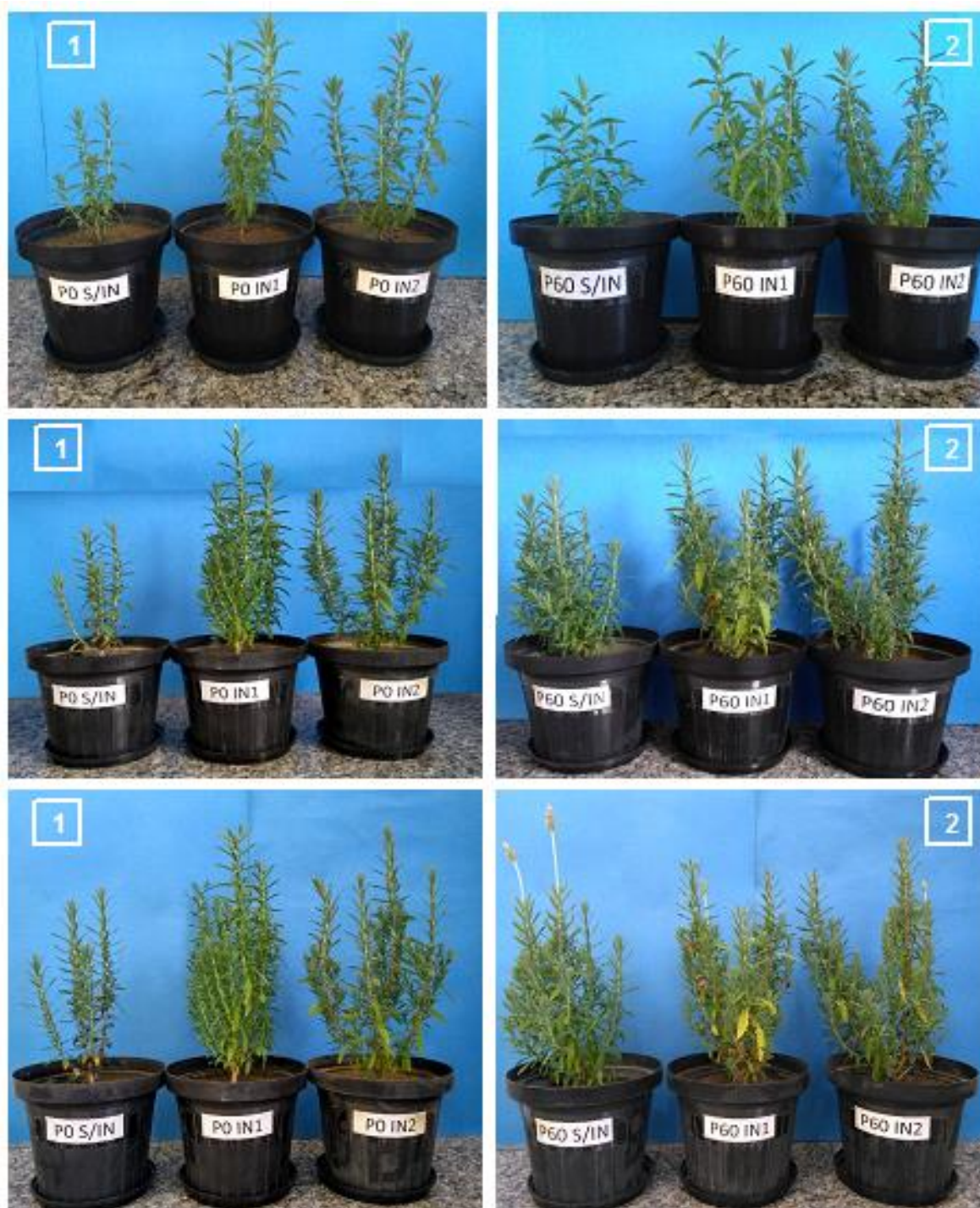


Figura 6A. Plantas de *Lavandula dentata* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares, com e sem adição de fósforo. 1 - tratamentos com dose 0 mg dm^{-3} S/IN (não inoculados), IN1 (*Rhizophagus clarus*) e IN2 (*Claroideoglossum etunicatum*), respectivamente; 2 - tratamentos com dose 60 mg dm^{-3} S/IN (sem inóculos), IN1 (*Rhizophagus clarus*) e IN2 (*Claroideoglossum etunicatum*), respectivamente.

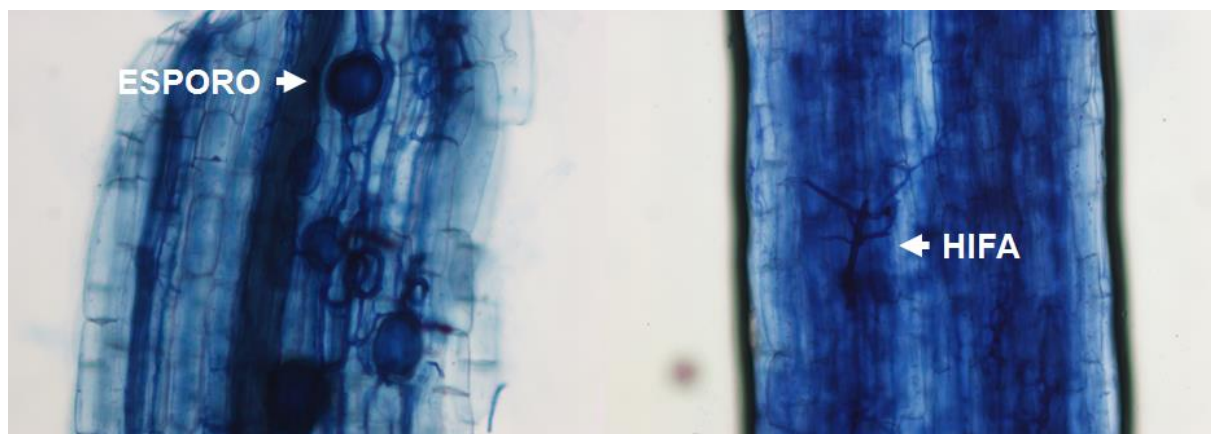


Figura 7A. Raiz de lavanda com estruturas fúngicas.