

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
Campus **FREDERICO WESTPHALEN – RS**
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
AGRICULTURA E AMBIENTE

Paola Daiane Welter

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E COMPOSTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA NO DESENVOLVIMENTO
DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO

Frederico Westphalen, RS.
2018

Paola Daiane Welter

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E COMPOSTO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA NO DESENVOLVIMENTO DE
MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia – Agricultura e Ambiente**.

Orientador: Rodrigo Ferreira da Silva

Frederico Westphalen, RS.
2018

Paola Daiane Welter

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E COMPOSTO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA NO DESENVOLVIMENTO DE
MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia – Agricultura e Ambiente**.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2018:

Rodrigo Ferreira da Silva, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Daniel Joner Daroit, Dr. (UFFS)

Marcia Matsuoka Rosa, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS.
2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar e me abençoar durante essa caminhada, por me manter forte e centrada para que eu perseverasse sempre.

Aos meus pais e meus irmãos, pelo apoio incondicional, pela inspiração a mim transmitida e por confiarem e terem fé no meu potencial.

Ao Hazael por tudo que significa...

Ao meu orientador Dr. Rodrigo Ferreira da Silva, por confiar no meu trabalho, pela amizade, pelo apoio e orientação.

Ao Professor Clóvis, pelos ensinamentos, apoio e amizade.

*A Professora Hilda, pelo suporte. pelas inúmeras contribuições e pela amizade
A família do solos...pessoal dos laboratórios de biologia e física do solo e ao
Professor Vanderlei pela amizade, companheirismo, contribuição e ajuda na
realização deste trabalho.*

*A Andrea Giovenardi, pela ajuda incondicional, amizade e conselhos a mim dados,
Aos técnicos laboratoriais e amigos Felipe, Lucindo e Marcela pela ajuda na
realização de análises e pela concessão de equipamentos e materiais necessários a
execução desse trabalho.*

*Aos demais professores e funcionários da UFSM-FW, pelos ensinamentos e
auxílios prestados.*

*A Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen pelo
espaço físico a mim concedido e ao PPGAAA pela oportunidade de realizar esse
projeto.*

A CAPES pela concessão da bolsa

*Meu muito obrigada a todos aqueles que de uma forma ou de outra fizeram parte
dessa grande conquista!!*

"Não desista enquanto você ainda for capaz de fazer um esforço a mais. É nesse algo a mais que está a sua vitória."

(Roberto Shinyashiki)

RESUMO

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E COMPOSTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA NO DESENVOLVIMENTO DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO

AUTOR(A): Paola Daiane Welter
ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

O morangueiro é extremamente exigente quanto as condições físicas e de fertilidade do solo. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAS) aumentam a área de absorção das raízes, possibilitando maior absorção de água e nutrientes, principalmente de fosfatos. O composto de água residuária de suinocultura (CARS) é um composto orgânico concentrado em nutrientes, promove o aumento do pH, nos teores P e K disponíveis e nos tores de micronutrientes do solo. O objetivo geral deste trabalho foi analisar a influência de diferentes espécies de FMAs e do composto de água residuária de suinocultura no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro. Desse modo foram realizados três experimentos. O primeiro objetivou selecionar fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento de plantas de morangueiro de cultivares de dia neutro. No segundo comparou-se o CARS com diferentes substratos formulados a partir de esterco bovino e vermicomposto no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro. No terceiro avaliou-se o efeito de diferentes espécies de FMAs e da aplicação de CARS no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro. Os fungos micorrízicos arbusculares possuem afinidade com plantas de morangueiro, em especial o gênero *Acaulospora* que coloniza amplamente as plantas tanto na presença quanto na ausência de composto orgânico. A adição do composto de água residuária em solo, em geral, proporciona bom desenvolvimento das plantas de morangueiro. O uso de CARS como componente de substrato eleva os teores de P nos tecidos das plantas, sendo sua ação otimizada na presença dos fungos micorrízicos, se equivalendo a adubação mineral.

Palavras-chave: Composto orgânico. Simbiose. *Fragaria x ananassa*.

ABSTRACT

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND SWINE WASTEWATER COMPOST IN THE DEVELOPMENT OF NEUTRAL DAY STRAWBERRY

AUTHOR: Paola Daiane Welter
ADVISOR: Rodrigo Ferreira da Silva

The strawberry is extremely demanding as to the physical and soil fertility conditions. The FMAS increase an area of root absorption, allowing greater absorption of water and nutrients, mainly phosphates. The swine wastewater compost and an organic compound concentrated in nutrients, promoting the increase of the pH, the available P and K levels and the soil micronutrients. The general objective of this work is to analyze the influence of different species of AMF and swine wastewater compost no development of neutral day strawberry plants. In this way they have carried out three experiments. The first objective defines efficient arbuscular mycorrhizal fungi for the development of strawberry plants of neutral day cultivars. In the second, the CARS was compared with different substrates formulated from bovine manure and vermicompost in the development of neutral day strawberry plants. The third one evaluated the effect of different AMF species and the application of CARS in the development of neutral day strawberry plants. Arbuscular mycorrhizal fungi have affinity with strawberry plants, especially the genus *Acaulospora*, which colonizes widely as plants both in the presence and absence of organic compound. The addition of the wastewater compost to soil, in general, provides the development of strawberry plants. The use of CARS as a substrate component raises the contents of the tissues of the plants, and their action is optimized in the presence of mycorrhizal fungi, being equivalent to a mineral fertilization.

Keywords: Organic compost. Symbiosis. *Fragaria x ananassa*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 - Porcentagem de colonização micorrízica (A) e Dependência micorrízica (B) de plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion cultivadas em solo sem inoculação (Controle) e inoculados com os isolados *Gigaspora margarita*; *Gigaspora rosea* e *Acaulospora colombiana* *Valores seguidos de mesma letra, maiúscula para cultivar e minúscula para inoculação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....35
- Figura 2 - Presença de estruturas fúngicas: esporos, hifas e vesículas, nas raízes de morangueiro em cultivares Aromas (Ar) e Albion (Al), com aumento de 40x, ao final de 120 dias, inoculadas com os isolados *Gigaspora margarita* (A e B), *Gigaspora rósea* (C e D) e *Acaulospora colombiana* (E e F).36
- Figura 3 - Área foliar (cm²) (A), eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) (B), teor de clorofila total (Chl total) (C), carotenoides totais (D). *Valores seguidos de mesma letra, maiúscula para cultivar e minúscula para inoculação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).38

CAPÍTULO II

- Figura 1 - Equações de regressão para número de folíolos (NF) (A), massa seca da parte aérea (MSPA) (B), volume de raiz (VR) (C), massa seca radicular (MSR) (D), diâmetro de coroa (E), altura de planta (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas cultivadas em substrato com diferentes proporções de composto de água residuária de suínos (CARS), esterco de bovino (EB) e vermicomposto (VC) e desdobramento simples significativo para o fator substrato para massa seca de coroa (MSC) (G). *A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morango.53
- Figura 2 - Equações de regressão para Porosidade total (PT) (A), espaço de aeração (EA) (B) densidade aparente (DA) (C) e capacidade de retenção de água (CRA) (D) dos substratos formulados a partir das proporções de 0, 10, 20, 30 e 40% de composto a base de água residuária de suínos (CARS), esterco de bovino (EB) e vermicomposto (VC) misturadas ao solo (v/v).59
- Figura 3 - Equações de regressão para os teores foliares de nitrogênio (N) (A), fósforo (P) (C) e potássio (K) (E), e teores radiculares de nitrogênio (N) (B), fósforo (P) (D) e potássio (K) (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas cultivadas em solo, com e sem inoculação de FMAs e com diferentes proporções de CARS. *A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.....62

CAPÍTULO III

- Figura 1 - Equações de regressão dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para altura de planta (A), massa seca da parte aérea (MSPA) (B), volume de raiz (VR) (C), massa seca radicular (MSR) (D), número de folíolos (NF) (E) e área foliar (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. *A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.....75
- Figura 2 - Desmembramento dos efeitos simples significativos dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para diâmetro de coroa (DC) (A e B) e massa de coroa (MSC) (C e D) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. * Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$). **A adubação mineral realizada

	de acordo com a recomendação do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro..	78
Figura 3 -	Desmembramento dos efeitos simples significativos dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para porcentagem de colonização micorrízica (CM) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. * Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$)..	79
Figura 4 -	Colonização micorrízica, presença de estruturas fúngicas, hifas (h) e esporo (e), nas raízes de morangueiro da cultivar Aromas, com aumento de 40x, ao final de 120 dias. Isolados: <i>Acaulospora colombiana</i> (AC), <i>Claroideoglobus etunicatum</i> (CE) e <i>Acaulospora morrowiae</i> (AM)..	80
Figura 5 -	Equações de regressão dos fatores de variação proporções de CARS e inoculação para os teores foliares de nitrogênio (N) na parte aérea (A) e radicular (B), fósforo (P) na parte aérea (C) e radicular (D), e potássio (K) na parte aérea (E) e radicular (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. **A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.	82
Figura 6 -	Equações de regressão dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para o teor de clorofila total (Chl total) (A), carotenoides totais (B), taxa de transporte de elétrons (ETR_{1500}) (C), rendimento quântico efetivo do PSII (YII) (D) e desdobramento dos efeitos simples significativos dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para a eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) (E e F), das plantas de morangueiro da cultivar Aromas *Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$). **A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro..	84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1 - Carbono orgânico (CO), pH e disponibilidade de nutrientes do solo utilizado para compor os tratamentos..27
- Tabela 2 - Altura, número de folíolos (NF), diâmetro do colo (DC) e volume de raiz (VR) de plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, cultivadas em solo, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*... 30
- Tabela 3 - Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca da coroa (MSC), massa seca de estolão (MSE) de plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, cultivadas em solo, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*..... 31
- Tabela 4 - Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea das plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, cultivadas em solo, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*..... 33
- Tabela 5 - Conteúdo de glomalina e teores de carbono orgânico total (COT) no solo cultivado com plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*..... 37

CAPÍTULO II

- Tabela 1 - A Caracterização química do composto de água residuária de suinocultura (CARS), esterco bovino e vermicomposto incorporados ao solo para crescimento e desenvolvimento de plantas de morangueiro da cultivar aromas. 50
- Tabela 2 - Efeito das proporções (10, 20, 30, 40%) de Esterco bovino, CARS e vermicomposto adicionadas ao solo (v/v), comparadas pelo teste de Dunnett, sobre altura de planta, número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da coroa (DC), massa seca da coroa (MSC), volume radicular (VR) e massa seca de raízes (MSR) de plantas de morangueiro da cultivar aromas, considerando 0% (solo) como controle..... 56
- Tabela 3 - Efeito das proporções (10, 20, 30, 40%) de Esterco bovino, CARS e vermicomposto adicionadas ao solo (v/v), comparadas pelo teste de Dunnett, sobre altura de planta, número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da coroa (DC), massa seca da coroa (MSC), volume radicular (VR) e massa seca de raízes (MSR) de plantas de morangueiro da cultivar aromas, considerando a adubação mineral como controle..... 58

CAPÍTULO III

- Tabela 1 - Caracterização química das proporções do composto de água residuária de suinocultura (CARS) incorporado ao solo para o desenvolvimento de plantas de morangueiro da cultivar aromas..72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 MORANGUEIRO	12
2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	14
2.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS	15
2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
3 CAPÍTULO I - FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES PARA DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE PLANTAS DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO	24
3.1 RESUMO	24
3.2 ABSTRACT	24
3.3 INTRODUÇÃO	25
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.6 CONCLUSÕES	40
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
4 CAPÍTULO II - COMPOSTOS ORGÂNICOS NA FORMULAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO	46
4.1 RESUMO	46
4.2 ABSTRACT	46
4.3 INTRODUÇÃO	47
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	48
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.6 CONCLUSÕES	63
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
5 CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO CULTIVADAS EM DIFERENTES PROPORÇÕES DE CARS E INOCULADAS COM FMAS	68
4.1 RESUMO	68
5.2 ABSTRACT	68
5.3 INTRODUÇÃO	69
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	70
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.6 CONCLUSÕES	87
5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
6 DISCUSSÃO	93
6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96

1 INTRODUÇÃO GERAL

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) é uma planta pertencente à família Rosacea, de hábito de crescimento herbáceo (FILGUEIRA, 2008), de clima temperado, com grande importância econômica no Brasil, destacando-se na produção em pequenas áreas (STRIK, 2007). O Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor, responsável por 15% da produção total do fruto no país (REISSER JÚNIOR et al., 2010). A cultura atualmente ocupa uma área de aproximadamente 4 mil hectares, com produção estimada em 105 mil toneladas (REISSER JÚNIOR et al., 2015).

O morango possui grande aceitação pelos consumidores, podendo ser consumido in natura, em geleias e sucos, o que agrega valor à cultura, possibilitando a geração de renda e de mão-de-obra, em pequenas áreas (COCCO et al., 2011; VAILATI & SALLES, 2010; MADAIL et al., 2008). O cultivo do morangueiro é possível tanto em regiões frias quanto tropicais devido ao desenvolvimento de cultivares com diferentes adaptações (CALVETE et al., 2012). Contudo, é importante escolher a cultivar que se adeque a cada região, para que atenda as especificidades da cultura, dentre elas fotoperíodo, temperatura e número de horas de frio (VIGNOLO, 2011). As principais cultivares utilizadas pelos produtores são: Oso Grande (50%) de dia curto, Aromas (6%) e Albion (4%) de dia neutro (ANTUNES & PERES, 2013).

O morangueiro é extremamente exigente quanto as condições físicas e de fertilidade do solo (ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011). Porém, perante o quadro de contaminação do morango, devido a aplicação de agrotóxicos (ANVISA, 2013), busca-se cada vez mais a produção do fruto em sistemas orgânicos, onde além da ausência de produtos químicos pra controle de pragas e doenças, há também o controle de adubos minerais, uma vez que isso implica em utilização de fontes não-renováveis para sua produção, além de que, muitas vezes, quando aplicados em alta concentração, podem causar um desequilíbrio nutricional no solo, podendo reduzir a produtividade da cultura (CAMARGO et al., 2012).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são fungos biotróficos, os quais são capazes de estabelecer uma relação de simbiose com grande número de plantas (SMITH & READ, 2008). Através desta simbiose, são capazes de aumentar a absorção de nutrientes minerais pelas plantas, proporcionando maior desenvolvimento, produtividade e proteção contra fatores bióticos e abióticos, possibilitando redução na utilização de adubos e defensivos químicos (SAS-PASZT et al., 2011; MATSUBARA; ISHIGAKI; KOSHIKAWA, 2009).

As micorrizas arbusculares através de suas hifas extrarradiculares promovem o alongamento das raízes, elevando a área de contato no solo, podendo chegar a 7,5 metros ao dia

(GIOVANNETTI et al., 2001), aumentando o volume de solo a ser explorado, possibilitando maior absorção de água e nutrientes, principalmente a de fosfatos (SMITH & READ, 2008; BUNN et al., 2009; QUEREJETA et al., 2009), reduzindo em até 80 % na aplicação de adubos fosfatados (JAKOBSEN, 1995). Os benefícios dos FMAS em plantas de morangueiro em diferentes sistemas de cultivo já foram demonstrados em alguns estudos (MARTINEZ, 2012; MATSUBARA; ISHIGAKI; KOSHIKAWA, 2009; VOS et al., 2012; CASTELLANOS-MORALES et al., 2010; FAN et al., 2011).

Outra forma de suprir a utilização de adubos minerais está na utilização de composto orgânicos oriundos de restos vegetais e animais (NASSUR et al., 2015). Esses compostos constituem uma fonte de nutrientes às plantas assim como para os microrganismos, favorecendo a microbiota do solo, os quais são responsáveis pelo processo de decomposição dos resíduos, pela qual promovem a liberação de CO_2 , NH_4^+ , íons de fósforo e micronutrientes fundamentais no desenvolvimento das plantas (ARMOND et al., 2016). Com a adição de compostos orgânicos também há uma melhora expressiva na qualidade física do solo, no que se refere a sua porosidade e sistema de drenagem, ampliando a capacidade de retenção de água (TRANI et al., 2004; DINIZ; GUIMARÃES; LUZ, 2006).

O composto de água residuária da suinocultura (CARS) é um material oriundo da compostagem de água residuária de suinocultura com maravalha, com a finalidade de obtenção de um composto orgânico concentrado em nutrientes, pois é eliminada grande parte da água contida nos dejetos, por meio dos processos térmicos envolvidos na compostagem (OLIVEIRA, 1999). Um estudo no decorrer do processo de compostagem do CARS, demonstrou que sucessivas adições de água residuária junto ao processo de revolvimento com a maravalha possibilitou um acúmulo de nutrientes no composto final (OLIVEIRA, 2003). O processo de produção do CARS, possibilita uma adequada relação C/N, o nitrogênio é fixado no composto não sofrendo processo de lixiviação, desta forma é possível uma liberação gradual do N para plantas, uma vez que esse se encontra na forma orgânica, tornando-se mineral lentamente (OLIVEIRA, 2006), possibilita também aumento do pH e nos teores P e K disponíveis e nos teores de micronutrientes do solo (LOURENZI et al., 2016), possibilitando melhor desenvolvimento das plantas cultivadas na presença do composto (MONTEIRO et al., 2011).

A utilização de compostos orgânicos na cultura do morangueiro é considerada fundamental, por reger a maior produtividade, tornando-se determinante no sucesso da mesma (SANTOS & MEDEIROS, 2003). Apesar de já serem utilizados pelos produtores de morango, ainda há dúvidas quanto à quantidade a ser aplicada, pois em concentrações muito elevadas pode resultar na salinização do solo e ser prejudicial à cultura (MELO, SILVA & DIAS, 2008;

PAULA et al., 2008). Uma forma de otimizar o efeito desses compostos é a sua combinação com FMAS. Alguns estudos realizados já demonstraram o efeito combinado da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares com compostos orgânicos no fornecimento de nutrientes às plantas (GOMES JÚNIOR et al., 2011; VERMA & ARYA, 1998; RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007).

O morangueiro é uma cultura extremamente exigente em questão de nutrição e de qualidade do meio de cultivo. Deficiências nutritivas acarretam em estresses abióticos às plantas e agravam a suscetibilidade ao ataque de doenças e pragas, assim como solos ou substratos deficientes ou pouco aerados também comprometem o desenvolvimento da cultura. Com base nesta explanação, este trabalho teve como hipótese que o uso de fungos micorrízicos arbusculares e composto de água residuária da suinocultura possibilitam maior absorção de nutrientes e desenvolvimento das plantas de morangueiro. Para atender esta hipótese foram desenvolvidos três trabalhos científicos, dos quais o objetivo do primeiro foi selecionar fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento de plantas de morangueiro de cultivares de dia neutro; no segundo, o objetivo foi comparar o CARS com diferentes substratos formulados a partir de esterco bovino e vermicomposto no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro; e o terceiro teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes espécies de FMAs e da aplicação CARS no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro. O objetivo geral deste trabalho foi analisar a influência de diferentes espécies de FMAs e do composto de água residuária de suinocultura no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MORANGUEIRO

Com grande aceitação na mesa do consumidor, devido as suas características de cor, aroma e sabor (COCCO et al., 2011), o morangueiro é uma planta do gênero *Fragaria*, pertencente a família Rosaceae, têm sua origem datada no século XV na Europa. O morangueiro cultivado nos dias atuais trata-se de um híbrido (*Fragaria ananassa* x Duchene), desenvolvido na Europa, através de cruzamentos entre espécies europeias e americanas (SANHUEZA et al., 2005).

A produção de morango cresceu 29% no período de 1997 a 2006 (ANTUNES & REISSER JUNIOR, 2007), refletindo em aumento na área produtiva de 18%. Isso se deve a

cadeia produtiva do morango deter grande expressão tanto a nível mundial, como localmente, mobilizando desde pequenos até grandes produtores (SPECHT & BLUME, 2009). A produção mundial de morangos alcançou valores elevados na safra 2013-2014, ultrapassando 4 milhões de toneladas em aproximadamente 241 mil hectares (FAOSTAT, 2014). As Américas, a Europa e a Ásia são os responsáveis por produzir 90,4% dos frutos (FAOSTAT, 2014). Sendo os Estados Unidos que lidera o ranking de maior produtor, seguido do México em segundo lugar e da Turquia em terceiro (FAO, 2012).

Em se tratando do cenário produtivo brasileiro, segundos Reisser Júnior et al. (2015), os estados que detêm a maior produção do fruto são Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Espírito Santo, Paraná, Santa Catarina e Distrito Federal. O Rio Grande do Sul é responsável por 15% da produção brasileira (REISSER JÚNIOR et al., 2010). A área cultivada atualmente em nível de Brasil é de aproximadamente 4.000 hectares, com produção estimada de cerca de 105 mil toneladas por ano. A alta rentabilidade do morangueiro, possibilita a permanência do homem no campo, além das condições favoráveis de cultivo e a produção do fruto durante grande parte do ano, são alguns dos principais fatores que medeiam o desenvolvimento e a exploração da cultura do morangueiro no Brasil. (REICHERT & MADAIL, 2003; ANTUNES & REISSER JÚNIOR, 2007).

Pouco se conhece sobre sua inserção em território Nacional, sabe-se que no século XX, o morangueiro recebeu grande incentivo, resultando em expansão de sua produção (CAMARGO & PASSOS, 1993), difundindo-se principalmente nos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul (AMARO, 2002). Na década de 40, o cultivo do morangueiro recebeu novo incentivo, por meio do lançamento de cultivares nacionais pela EMBRAPA Clima Temperado (CONTI; MINAMI; TAVARES, 2002).

O morango pode ser consumido de diversas formas, desde in natura, como também em doces, sucos e geléias, agregando valores econômicos, podendo-se agregar também valores sociais, devido a demanda de mão-de-obra necessária ao cultivo, com geração de renda principalmente nas pequenas propriedades (VAILATI & SALLES, 2010; SPECHT & BLUME, 2009; AMARO, 2002; MADAIL et al., 2008).

A escolha da cultivar possui grande relevância no sucesso do cultivo do morangueiro, devido suas especificidades quanto ao fotoperíodo, temperatura e número de horas de frio (VIGNOLO, 2011). As principais cultivares utilizadas pelos produtores brasileiros são Oso grande (50%), Camarosa (30%), Albion (6%) e Aromas (4%), sendo as duas últimas de dia neutro, estando estas, distribuídas em campo aberto e cultivo em substrato (ANTUNES & PERES, 2013). O cultivo de morangueiro na região Sul do Brasil ainda é predominantemente

no solo, devido a este sistema facilitar a implantação da cultura e diminuir os custos de produção (MARIANI et al., 2012).

2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

A evolução das micorrizas arbusculares está relacionada a das plantas terrestres, pois há evidência da presença de esporos e hifas de Glomeromycetes observados em fósseis ordovícicos, datados a cerca de 460 milhões de anos (REDECKER; KODNER; GRAHAM, 2000). A primeira descrição no Brasil dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foi datada nos anos 1778 e 1979, pela Dr^a Elke J. B. N. Cardoso em mudas de cafeeiro e espécies forrageiras (SIQUEIRA et al., 2010).

Os FMAs são organismos biotróficos obrigatórios, pertencente ao filo Mucoromycota, classe Glomeromycotina (STAPAFORA et al., 2016), responsáveis por formar uma relação simbiótica mutualista denominada de micorriza arbuscular (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), associando-se com mais de 80% das famílias de plantas (GIANINAZZI et al., 2010). Essa dependência de simbiose com plantas hospedeiras, para que possam completar seu ciclo de vida, é esperada em simbioses altamente evoluídas, na qual o simbionte se torna totalmente dependente do hospedeiro para crescimento e reprodução (SOUZA et al., 2010).

Os FMAs aumentam a área de contato das raízes, a partir de suas hifas extraradiculares, possibilitando maior absorção de nutrientes e água. Além desses benefícios, o fungo melhora, em geral, o estado da planta hospedeira, reduzindo possíveis estresses causados por fatores ambientais (BUNN et al., 2009; QUEREJETA et al., 2009).

O fosfato inorgânico (Pi) é de difícil difusão nos solos, porém, quando na solução do solo, sua rápida absorção pelas plantas forma zonas de depleção de Pi na superfície das raízes, dificultando a absorção direta pelas plantas (ROOSE & FOWLER, 2004). A rede de micélio dos FMAs conectada às raízes, é capaz de aumentar em várias ordens de grandeza o volume do solo explorado pelas plantas, de tal modo que as raízes micorrizadas são mais eficientes na absorção de fosfato que raízes não micorrizadas (SMITH & READ, 2008). Estima que em determinadas condições de campo, a inoculação de FMAs pode resultar em redução de até 80% no uso de adubo fosfatado (JAKOBSEN, 1995).

Vários benefícios já foram relatados em relação a inoculação de FMAs em morangueiro, elevando a taxa de crescimento das plantas (VESTBERG et al., 2004), aumentando a área foliar (MARTINEZ, 2012), agindo como bioprotetores, protegendo contra danos de fungos

patogênicos de solo (VOS et al., 2012), incrementando a biomassa das plantas (TAYLOR & HARRIER, 2001), a produção de estolões (NIEMI & VESTBERG, 1992).

Os fungos micorrízicos arbusculares podem ainda otimizar a produção do morangueiro quando combinado com compostos orgânicos que são muito utilizados no cultivo do morango (SANTOS & MEDEIROS, 2003). Vários estudos já têm demonstrado o benefício nutricional dessa combinação (GOMES JÚNIOR et al., 2011; VERMA & ARYA, 1998; RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007). Assim como os compostos orgânicos, os FMAs podem também contribuir como alternativa na redução no uso de adubos químicos oriundos de fontes não-renováveis ao mesmo tempo em que incrementam a produção da cultura (GOMES JÚNIOR et al., 2011; CAMARGO et al., 2012).

2.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS

O composto orgânico é um material resultante de uma decomposição aeróbica de resíduos vegetais e animais, (NASSUR et al., 2015). Os compostos orgânicos melhoram as características físicas, químicas e biológicas do solo ou substrato, possibilitando maior crescimento das plantas, através do fornecimento de nutrientes e do melhor desenvolvimento e estabelecimento das raízes, promovido pela estrutura física do substrato (HENZ et al., 2007).

A formulação de substratos a partir de compostos orgânicos possibilita porosidade adequada, boa drenagem e capacidade de retenção de água, promovendo pleno desenvolvimento das plantas (TRANI et al., 2004; DINIZ; GUIMARÃES; LUZ, 2006). Os compostos também constituem uma fonte de nutrientes e energia tanto para as plantas, como para os microrganismos, que são responsáveis pela decomposição, que promove a liberação contínua de CO_2 , NH_4^+ , íons de fósforo e micronutrientes que são essenciais ao metabolismo das plantas (ARMOND et al., 2016). De acordo com Santos & Medeiros (2003) o uso de material orgânico é a base fundamental para se obter sucesso na cultura do morangueiro, uma vez que são favoráveis ao desenvolvimento das plantas, pois disponibilizam N e K no decorrer do ciclo da cultura.

Contudo, a quantidade de composto orgânico aplicada, assim como a forma de aplicação podem trazer complicações, pois quando realizada muito próxima do plantio ou em proporções elevadas podem acarretar em salinidade, tornando-se prejudicial a cultura, que é extremamente sensível a este fator (MELO, SILVA & DIAS, 2008; SANTOS & MEDEIROS, 2003).

Entre os compostos orgânicos utilizados na produção agrícola, o esterco bovino curtido é uma boa fonte de P, e em menor concentração de N e K, uma vez que estes especialmente o

K são retidos em menor quantidade no processo de digestão do tecido vegetal pelos animais (HOLANDA, 1990), aumentando a capacidade de mineralização dos nutrientes do solo e a disponibilidade destes as plantas (TEJADA et al., 2008). Vários autores já relataram os efeitos positivos da aplicação de esterco bovino em diversas hortaliças e frutíferas, como por exemplo no morango (ABU-ZAHRA & TAHBOUB, 2008); no melão (OLIVEIRA; AMARO FILHO; MOURA FILHO, 2006); alface (MANTOVANI et al., 2017); em rúcula (RODRIGUES et al., 2008); em pimentão (ARAÚJO et al., 2007), entre outras.

A vermicompostagem de resíduos orgânicos é uma variação da compostagem, onde são utilizadas minhocas que exercem a função mecânica de triturar o material, e os microrganismos presentes naturalmente em seu intestino são responsáveis pela ação bioquímica de degradação (GOMES & PAIVA, 2013; BIDONE & POVINELLI, 1999). O vermicomposto utilizado na formulação de substratos aumenta consideravelmente os teores de matéria orgânica no solo, assim como a disponibilidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, pois melhoram consideravelmente os atributos físicos e biológicos do mesmo (VITTI, 2006; EDWARDS, 2004). De acordo com Nourbaksh (2007), a aplicação de vermicomposto melhora a qualidade, fertilidade e estrutura do solo, pois promove maior aeração ao substrato, melhorando sua estrutura, diminuindo os riscos de compactação. Estudos com aplicação de vermicomposto em cultivo de morangueiro comprovam a eficiência desse material em melhorar o desenvolvimento, crescimento e produtividade da cultura (AMERI et al., 2012; CABILOWSKI et al., 2014).

O dejetos de suíno para poder ser utilizado em hortaliças, necessita passar por um processo de compostagem (BRASIL, 2008), para eliminação de possíveis microrganismos patogênicos e obtenção de um produto parcialmente mineralizado e com maior eficácia na nutrição das culturas hortícolas (Souza, 2003). O composto orgânico de água residuária de suinocultura (CARS) é constituído da mistura de maravalha e água residuária oriunda da produção de suínos, a qual passa por um processo de fermentação que possibilita a maturação do material com consequente eliminação de agentes patogênicos (PRÁ et al., 2005).

A utilização do CARS ainda é pouco difundida na agricultura não havendo relatos científicos para a cultura do morangueiro. Contudo, Monteiro et al. (2012) observaram aumentos significativos no desenvolvimento de mudas de alface cultivadas na presença deste composto. Parizotto & Pandolfo (2009) ao adicionar composto a base de dejetos de suíno ao solo, observaram aumento linear na massa seca de plantas de alface, assim como nos teores de matéria orgânica, fósforo e potássio disponível no solo de acordo com o aumento das proporções utilizadas. A utilização de composto a base de dejetos de suínos elevou a exportação

de nutrientes para bulbos de cebola, assim como melhorou o desenvolvimento das plantas e aumentou a produtividade da cultura (VIDIGAL et al., 2010).

O composto de água residuária de suinocultura eleva os teores de N orgânico no solo, possibilitando mineralização gradual de N de acordo com a necessidade das plantas (GIACOMINI & AITA, 2008). Proporciona ainda, elevação do pH do solo e aumento nos teores de P, K e micronutrientes, além dos teores de matéria orgânica do solo, devido ao alto teor de matéria seca adicionada via composto (LOURENZI et al., 2016). Assim a adição de CARS promove alterações positivas nos atributos químicos do solo proporcionando também melhoria na qualidade física do mesmo.

2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-ZAHRA, T. R.; TAHBOUD, A. B. Effect of organic matter sources on chemical properties of the soil and yield of strawberry under organic farming conditions. **World Applied Sciences Journal**, v. 5, n. 3, p. 383-388, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Programa de análise de resíduos de agrotóxicos em alimentos (PARA)**, 2011-2012. Brasília,DF, 2013. Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/.pdf> > Acesso em: 17 dez. 2015.

AMARO, M. C. C. **A cadeia produtiva agro-industrial do morango nos municípios de Pelotas, Turuçu e São Lourenço**. 2002. 105p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

AMERI, A. et al. Effect of substrate and cultivar on growth characteristics of strawberry in soilless culture system. **American Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 56, p. 11960 – 11966, 2012.

ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, A. M. **A cultura do morango**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2011, 52 p. (Plantar, 68).

ANTUNES, L. E. C.; PERES, N. A. Strawberry Production in Brazil and South America. **International Journal of Fruit Science**, v. 13, n. 1-2, p. 156–161, 2013.

ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C. Fragole, i produttori brasiliani mirano all'exportazione in Europa. **Frutticoltura**, v. 69, p. 60-65, 2007.

ARAÚJO, E. N. et al. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 466-470, 2007.

ARMOND, C. et al. Desenvolvimento inicial de plantas de abobrinha italiana cultivada com húmus de minhoca. **Horticultura brasileira**, v.34, p. 349-442, 2016.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/ USP, 1999. 109p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 64**. Brasília, 2008. 30p. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19345>> Acesso em: 15 dez. 2017.

BUNN, R.; LEKBERG, Y.; ZABINSKI, C. Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants. **Ecology**, v. 90, n. 5, p. 1378–1388, 2009.

CABILOVSKI, R. et al. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) production: impacto on soil fertility and yield. **Zemdirbyste-Agriculture**, v.101, n.1, p. 67-74, 2014.

CALVETE, E.O. et al. Cultivo de morangueiro em ambiente protegido. In: CHAVARRIA, G. SANTOS, H. P. **Fruticultura em ambiente protegido**. Brasília: Embrapa, 2012. p.149-206.

CAMARGO, C. K. et al. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2985-2994, 2012.

CAMARGO, L.S.; PASSOS, F.A. Morango. In: FURLANI, A.M.C.; VIÉGAS, G.P., eds. **O melhoramento de plantas no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p. 411-432.

CASTELLANOS-MORALES, V. et al. Root colonisation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* alters the quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) at different nitrogen levels. **Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 11, p. 1774–1782, 2010.

COCCO, Carine et al. Produção de cultivares de morangueiro de dias-curtos na região de Pelotas-RS. In: Encontro de Pós-Graduação UFPel, 13., 2011, Pelotas/RS. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2011. Não paginado.

CONTI, J. H.; MINAMI, K.; TAVARES, F. C. A. Comparação de caracteres morfológicos e agronômicos com moleculares em morangueiros cultivados no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 419-423, 2002.

DINIZ, K. A.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; LUZ, J. M. Q. Húmus como substrato para a produção de mudas de tomate, pimentão e alface. **Bioscience Journal**, v. 22, n. 3, p. 63-70, 2006.

EDWARDS, C. A. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: C. A. Edwards (Ed.). **Earthworm ecology**. Florida: CRC Press, 2004. Pp. 327-354.

FAN, L. et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass and root morphology of selected strawberry cultivars under salt stress. **Botanique**, v. 89, n. 6, p. 397–403, 2011.

FAOSTAT. **Statistical of strawberry production in world**. 2014. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>>. Acesso em: 04 nov. 2017.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 Ed. Viçosa: UFV, 2008. 421p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. FAOSTAT: Agricultural Production/strawberry 2012. Disponível em:< <http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 04 dez. 2015.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos de líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 32, n. 1, p. 195-205, 2008.

GIANINAZZI, S. et al. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, v. 20, n. 8, p. 519-530, 2010.

GIOVANNETTI, M. et al. The occurrence of anastomosis formation and nuclear exchange in intact arbuscular mycorrhizal networks. *New Phytologist*, v. 151, n. 3, p. 717–724, 2001.

GOMES JÚNIOR, J. et al. Crescimento e produtividade de tomateiros do grupo cereja em função da aplicação de biofertilizante líquido e fungo micorrízico arbuscular. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 4, p. 627-633, 2011.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: UFV, 2013. 116p.

HENZ, G. P. ALCÂNTARA, F. A. RESENDE, F. V. **Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Coleção 500 perguntas, 500 respostas**. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 237 p.

JAKOBSEN, I. Transport of phosphorus and carbon in VA mycorrhizas. In: VARMA, A.; HOCK, B. *Mycorrhiza*. Berlin: Springer- Verlag, 1995. p. 297–324.

LOURENZI, C. L. et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 3, p. 233-242, 2016.

MADAIL, J. C. M. et al. **Economia da Produção de Morangos: Estudo de caso de transição para a produção integrada**. Pelotas/RS: Embrapa Clima temperado, 2008. 26 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim, 53).

MANTOVANI, J. R. et al. Fertility properties and leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. *Revista Caatinga*, v. 30, n. 4, p. 825-836, 2017.

MARIANI, Edinéia et al. Produção de morangueiro cultivado em solo e substrato sob ambiente protegido. In: ECOSUSTENTABILIDADE – XVII MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Passo Fundo, RS. *Anais...*Passo Fundo: UPF. Não paginado, 2012.

MARTINEZ, L. F. S. **Calidad y Rendimiento de Fresa Inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciencias en Producción Agrícola Sustentable) - Instituto Politécnico Nacional, Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación, Jiquilpan Mich, 2012.

- MATSUBARA, Y.; ISHIGAKI, T.; KOSHIKAWA, K. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 392–396, 2009.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2008.
- MONTEIRO, G, C. et al. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface. **Enciclopédia Biosfera**. v. 8, n. 14, p. 140-148, 2012.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. p. 399-471.
- NASSUR, R. C. M. R.; VILAS BOAS, E. V. B.; RESENDE, F. V. Doses de composto orgânico e sua influência na manutenção da qualidade de tomates. **Revista Ciências Agrárias**, v. 58, n. 4, p. 342-348, 2015.
- NIEMI, M.; VESTBERG, M. Inoculation of commercially grown strawberry with VA mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 144, p. 133–142, 1992.
- NOURBAKSH, F. Influence of vermicomposting on soil. **Journal of Zhejiang University Science**, v. 8, n. 10, p. 725-730, 2007.
- OLIVEIRA, F. J. M.; AMARO FILHO, J.; MOURA FILHO, E. R. Efeito da adubação orgânica sobre a qualidade de frutos de meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Revista Verde**, v. 1, n. 2, p. 81-85, 2006.
- OLIVEIRA, P. A. V. Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. 1999. 272p. Thèse (Docteur) - l' ENSA de Rennes, France, 1999.
- OLIVEIRA, P. A. V. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering**, v.23, n.3, p.398-626, 2003.
- OLIVEIRA, P. A. V. **Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos líquidos de suínos**. Concórdia:, 2006. 39p. (Embrapa Suínos e Aves. Documento, 14).
- PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M. Produção orgânica de alface e atributos de solo pela aplicação de composto de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 195-199, 2009.
- PAULA, V. A. et al. Produção e distribuição de massa seca da parte aérea do morangueiro cultivado em ambiente protegido sob adubação orgânica. **Horticultura Brasileira**. v. 6, n. 2, 5931-5935, 2008.

PRÁ, M. A. D. et al. **Compostagem de dejetos líquidos de suínos**. Sete Lagoas/MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documento,45).

QUEREJETA, J. I.; EGERTON-WARBURTON, L. M.; ALLEN, M. F. Topographic position modulates the mycorrhizal response of oak trees to inter-annual rainfall variability in a California woodland. **Ecology**, v. 90, n. 3, p. 649-662, 2009.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v. 289, n. 5486, p. 1920–1921, 2000.

REICHERT, L. J.; MADAIL, J. C. M. **Morango – Produção**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS), 2003. 81p. (Frutas do Brasil, 40).

REISSER JÚNIOR, C. et al. Panorama do cultivo de morangos no Brasil. **Campo e Negócios**, v. 1, n. 1, p. 58-59, 2015.

REISSER JÚNIOR, Carlos; ANTUNES, Luís Eduardo Corrêa; RADIN, Bernadete. Produção de morango. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO E IV ENCONTRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL. Pelotas/RS. **Anais...** Pelotas/RS: Embrapa Clima Temperado, 2010, p. 63-69.

RODRIGUES, G. S. O. et al. Quantidade de esterco bovino no desempenho agrônômico da rúcula (*Eruca sativa* L.), cultivar Cultivada. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, p. 162-168, 2008.

RODRIGUEZ, K. R.; ORTUÑO, N. Evaluación de micorrizas arbusculares en producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. **Acta Nova**, v. 3, n. 4, p. 697-719, 2007.

ROOSE, T.; FOWLER, A. C. A mathematical model for water and nutrient uptake by plant root systems. **Journal of Theoretical Biology**, v. 228, n. 2, p. 173–184, 2004.

SANHUEZA, R. M. V. et al. **Sistema de Produção de Morango para Mesa da Região da Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste: Importância da Cultura**. Embrapa: Sistema de Produção. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>> Acesso em: 27 dez. 2017.

SANTOS A. M.; MEDEIROS A. R. M. **Nutrição, calagem e adubação**. In. Morango Produção. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2003. p. 39-45. (Frutas do Brasil 40).

SAS PASZT, L. et al. The influence of bioproducts on root growth and mycorrhizal occurrence in the rhizosphere of strawberry plants ‘Elsanta’. **Journal of Fruit Ornamental Plant Research**, v. 19, n. 1, p. 13-34, 2011.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed London, UK: Academic Press; 2008. 800 p.

SOUZA, F. A. et al. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 15- 73.

SOUZA, J. L. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 560p.

SPATAFORA, J. W. et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia**. v. 108, n. 5, p. 1028-1046, 2016.

SPECHT, Suzimary; BLUME, Roni. Competitividade e segmento de mercado à cadeia do morango: algumas evidências sobre o panorama mundial e brasileiro. In: SOBER - SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre, RS. **Anais...**Porto Alegre: SOBER. p.1-17, 2009.

STRIK, B.C. Berry crops: Worldwide area and production systems. In: ZHAO, Y. **Berry fruit: value-added products for health promotion**. Flórida: CRS Press. 2007, p. 3-46.

TAYLOR, J.; HARRIER, L. A. A comparison of development and mineral nutrition of micropropagated *Fragaria x ananassa* cv. Elvira (strawberry) when colonised by nine species of arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 3, p. 205-215, 2001.

TEJADA, M. et al. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 9, p. 1758-1767, 2008.

TRANI, P.E. et al. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 290-294, 2004.

VAILATI, T.; SALLES, R. F. M. Rendimento e qualidade de frutos de morangueiro sob diferentes coberturas de solo. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 29-37, 2010.

VERMA, R. K.; ARYA, I. D. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal isolates and organic manure on growth and mycorrhization of micropropagated *Dendrocalamus asper* plantlets and n spore production in their rhizosphere. **Mycorrhiza**, v. 8, n. 2, p. 113-116, 1998.

VESTBERG, M. et al. Microbial inoculation for improving the growth and health of micropropagated strawberry. **Applied Soil Ecology**, v. 27, n. 3, p. 243–258, 2004.

VIDIGAL, S. M. et al. Produtividade de cebola em cultivo orgânico utilizando composto à base de dejetos de suínos. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 168-173, 2010.

VIGNOLO, K. G. et al. Produção de morangos a partir de fertilizantes alternativos em pré-plantio. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1755-1761, 2011.

VITTI, M. R. **Impacto do vermicomposto bovino em atributos biológicos do solo e características físicas e químicas das frutas em pomar de pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch)**. 2006. 169 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

VOS, C. et al. Mycorrhiza-induced resistance in banana acts on nematode host location and penetration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 47, p. 60–66, 2012.

3 CAPÍTULO I – FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES PARA DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE PLANTAS DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO

3.1 RESUMO - Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) possibilitam maior absorção de nutrientes minerais pelas plantas, contribuindo na produção e no acúmulo de compostos bioativos e de crescimento promovendo melhor desenvolvimento, além de fornecer proteção a estresses ambientais e contra patógenos, elevando a vida produtiva das plantas de morangueiro. O trabalho teve como objetivo selecionar FMAs eficientes para o desenvolvimento de plantas de morangueiro de cultivares de dia neutro. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (2 x 4), sendo duas cultivares de morangueiro e quatro tratamentos de inoculação de FMAs (sem inoculação (controle), inoculação de *Gigaspora margarita*, *Gigaspora rosea* e *Acaulospora colombiana*, com 7 repetições. Avaliou-se a altura, diâmetro de coroa, número de folíolos, área foliar, massa seca da parte aérea, radicular e de coroa, massa seca de estolão, porcentagem de colonização e dependência micorrízica, teor de NPK na parte aérea e radicular, teor de carotenoides totais e clorofila total foliar, eficiência fotoquímica máxima do PSII, teor de carbono orgânico e glomalina no solo. A cultivar aromas, em geral, responde melhor a inoculação de FMAs. O isolado *A. colombiana* coloniza amplamente as raízes das plantas de morangueiro de ambas as cultivares. A dependência micorrízica de ambas as cultivares foi maior aos isolados *G. margarita* e *A. colombiana*. A inoculação de *A. colombiana*, *G. margarita* e *G. rosea* elevam os teores de N, P e K nos tecidos das plantas de morangueiro da cultivar albion. Os FMAs pouco influenciam os pigmentos nas plantas. A inoculação com *G. rosea* em plantas de Albion incrementa o teor de glomalina no solo. A presença de FMAs eleva a eficiência fotoquímica máxima do PSII para cultivar Albion.

Palavras-chave: Micorriza. *Gigaspora margarita*. *Gigaspora rosea*. *Acaulospora colombiana*. Fósforo.

3.2 ABSTRACT - Arbuscular mycorrhizal fungi (FMAs) allow greater absorption of mineral nutrients by the plants, contributing to the production and accumulation of bioactive and growth compounds, promoting better development, as well as providing protection against environmental stresses and against pathogens, increasing the productive life of the plants. strawberry. The objective of this work was to select efficient arbuscular mycorrhizal fungi for the development of strawberry plants of neutral day cultivars. The experimental design was completely randomized, in a factorial arrangement (2 x 4), two cultivars of strawberry and four treatments of inoculation of FMAs (without inoculation (control), inoculation of *Gigaspora margarita*, *Gigaspora rosea* and *Acaulospora colombiana*, with 7 replicates. The leaf height, crown diameter, number of leaflets, leaf area, dry mass of aerial part, root and crown, dry mass of stolon, percentage of colonization and mycorrhizal dependence, NPK content in shoot and root, of total carotenoids and total leaf chlorophyll, maximum photochemical efficiency of PSII, organic carbon content and glomalin in the soil The cultivar aromas, in general, responds better to inoculation of AMF *A. colombiana* isolate colonizes the roots of strawberry plants of both cultivars. The mycorrhizal dependence of both cultivars was higher in the isolates *G. margarita* and *A. colombiana*. The inoculation of *A. colombiana*, *G. margarita* and *G. rosea* elevate N, P and K contents in the tissues of the strawberry plants of the albion cultivar. FMAs have little influence on pigments in plants. The inoculation with *G. rosea* in albion plants increases the soil glomalin content. The presence of FMAs increases the maximum photochemical efficiency of PSII from Albion.

Keywords: Mycorrhiza. *Gigaspora margarita*. *Gigaspora rosea*. *Acaulospora colombiana*. Phosphorus.

3.3 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) possui grande expressão nacional, no qual o Rio Grande do Sul é responsável por 15% da produção (REISSER-JÚNIOR et al., 2010). No Brasil as principais cultivares plantadas são a Oso Grande (50%), Camarosa (30%), Albion (6%) e Aromas (4%), sendo as duas últimas de dia neutro (ANTUNES & PERES, 2013). É uma hortaliça apreciada pelo consumidor, devido sua coloração, sabor, aroma e pelas propriedades nutricionais contidas no fruto (COCCO et al., 2011). Maior produtividade, qualidade de frutos, características como, floração, frutificação, desenvolvimento, arquitetura da planta, resistência a doenças e sabor são esperadas no cultivo de morangueiro, atributos estes altamente dependentes da escolha da cultivar, além de outros fatores como local de cultivo e sistema de produção (SANTOS & RIOS, 1999).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) estabelecem relação simbiótica com um grande número de espécies de plantas (cerca de 80%) (SMITH & READ, 2008), sendo capazes de contribuir para seu desenvolvimento, produtividade, proteção a estresses ambientais e contra patógenos, reduzindo a utilização de fertilizantes minerais e defensivos químicos, por causa da produção e do acúmulo de compostos bioativos e de crescimento, bem como, pela melhoria das propriedades físico-químicas do solo ou substrato (SAS-PASZT et al., 2011; MATSUBARA; ISHIGAKI; KOSHIKAWA, 2009).

Os FMAs são importantes para nutrição de plantas, devido a sua capacidade de otimizar a absorção de nutrientes minerais pelo hospedeiro (SMITH & READ, 2008), podendo depois de estabelecida a simbiose, prolongar a superfície de absorção das plantas em até 7,5 m dependendo da espécie do hospedeiro, devido a produção de uma complexa rede ramificada de hifas (GIOVANNETTI et al., 2001). Uma comunidade micorrízica abundante auxilia e possibilita às plantas absorver nutrientes minerais, antes, indisponíveis para raízes (GIANINAZZI et al., 2010). Nesse sentido, mesmo sendo a maioria dos inoculantes formulados principalmente com bactérias fixadoras de nitrogênio, é esperado que aumente a demanda por produtos que mobilizam fósforo, onde se incluem os inoculantes formulados a partir de FMAs (TRANSPARANCY MARKET RESEARCH, 2014).

A influência dos FMAs em morangueiro vem sendo relatada na literatura científica, por exemplo, sua influência no crescimento das plantas (VESTBERG et al., 2004), aumento na produção de estolões (NIEMI & VESTBERG, 1992), aumento da área foliar (MARTINEZ, 2012), bioprotetores, servindo de proteção contra fungos patogênicos de raiz (MATSUBARA; ISHIGAKI; KOSHIKAWA, 2009; VOS et al., 2012), incremento nos teores de massa seca da parte aérea e radicular, porém, muito dependente da especificidade do isolado (TAYLOR & HARRIER, 2001).

Devido a existência de controvérsias em estudos quanto a ação e os benefícios dos FMAs em morangueiro (SINCLAIR et al., 2014; TOMÈ et al., 2015; SALGADO-BARREIRO et al., 2012; STUART et al., 2005), consequência da especificidade tanto das espécies de FMAS quanto do hospedeiro. Faz-se necessário a seleção de espécies de FMA eficientes em promover o crescimento e produção de diferentes cultivares de morango, para maximizar os efeitos positivos da associação. Com isso, o trabalho teve como objetivo selecionar fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento de plantas de morangueiro de cultivares de dia neutro.

3. 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria - *Campus* de Frederico Westphalen – RS. A condução do experimento foi realizada em casa de vegetação não climatizada.

As mudas de morangueiro utilizadas foram provenientes de cultura de tecidos, isentas de patógenos, produzidas no laboratório de Biotecnologia da Universidade de Passo Fundo – RS. As cultivares utilizadas foram de dia neutro denominadas Aromas e Albion. As mudas foram aclimatadas em laboratório por período de 30 dias em bandejas de 72 células com areia autoclavada, sendo aplicado 1 ml de solução nutritiva três vezes por semana, formulada de acordo com a recomendação para a cultura (SBCS, 2016). Irrigações, utilizando água destilada, foram realizadas diariamente, 10 ml por célula, com o auxílio de uma pipeta automática.

O solo utilizado foi um Argissolo Amarelo coletado em área agrícola de produção de morangos, na cidade de Feliz – RS. Sendo este esterilizado em autoclave à pressão de 1 atm (121 °C) por 30 min, processo repetido por três vezes. Foi realizada caracterização química e quantificação dos nutrientes disponíveis no solo (Tabela 1), extraídos por solução de Mehlich-1 e quantificados por espectrofotometria (P), por fotometria de chama (K) e extraídos por solução de KCl e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg) (SILVA,

2009). O carbono orgânico (CO) foi extraído a partir de digestão com dicromato de potássio e ácido sulfúrico e quantificado através de titulação com sulfato ferroso amoniacal (YEOMANS & BREMNER, 1988).

As mudas foram transplantadas para vasos de 1 litro, preenchidos com solo, sendo deixado entre cada vaso um espaço aproximado de 20 cm, sendo estes, suspensos em bancadas com 1,20 m de altura. As unidades experimentais foram constituídas de uma planta por vaso.

Tabela 1. Carbono orgânico (CO), pH e disponibilidade de nutrientes do solo utilizado para compor os tratamentos.

Análise química	CO --- % ---	pH-água 1:1	Ca ----- mg kg ⁻¹ -----	Mg ----- mg kg ⁻¹ -----	N ----- mg kg ⁻¹ -----	P ----- mg kg ⁻¹ -----	K ----- mg kg ⁻¹ -----
Solo	1,56	5,6	2990,0	899,1	-	14,34	107,36

Fonte: Autor.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 4), sendo duas cultivares de morangueiro e quatro tratamentos de inoculação de FMAs (sem inoculação (controle), inoculação de *Gigaspora margarita*; *Gigaspora rosea* e *Acaulospora colombiana* com 7 repetições. Os FMAs foram oriundos da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG) do Laboratório de Micorrizas da Universidade Regional de Blumenau - SC. A inoculação ocorreu no transplante das mudas, na qual foram adicionados 30 esporos de cada um dos isolados micorrízicos, por vaso.

As plantas foram irrigadas diariamente e localmente com o auxílio de um Becker graduado, mantendo a umidade em aproximadamente 80% da capacidade de campo. A adubação foi realizada de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, conforme Passos & Trani (2013), sendo composta apenas de N e K. O fósforo foi mantido nos teores naturais do solo, sem complemento de adubação.

Após 120 dias, as plantas de cada tratamento foram coletadas para avaliação morfológica, micorrização e estresse fisiológico. Foi quantificado o número de folíolos; a altura da parte aérea, com o auxílio de uma régua graduada, medindo-se do início da coroa até o trifólio de maior altura; diâmetro de coroa (DC), com paquímetro digital (@Black Jack); volume de raiz (VR), com auxílio de uma proveta graduada; massa seca da parte aérea (MSPA) e radicular (MSR), para quais cortou-se a planta na base da coroa, realizando a separação da parte aérea e radicular, secos em estufa a 60 ± 1 °C, até massa constante; massa seca de coroa (MSC), para qual cortou-se os pecíolos permanecendo apenas a coroa, pesadas em balança analítica e

secas em estufa a $60 \pm 1^\circ$, e através da soma da MSPA e MSR, foi calculada a massa seca total (MST).

Após quantificação da MST, foram extraídos N, P e K foliar (sendo descartados os pecíolos e a coroa) e radicular por meio de digestão com ácido sulfúrico e quantificado os teores por destilação e titulação (N), por espectrofotometria (P) e por fotometria de chamas (K) (SILVA, 2009).

A metodologia utilizada para determinar a porcentagem de colonização micorrízica (PC) baseou-se na coloração de raízes com Azul de Tripán, conforme descrito por Phillips & Hayman (1970). Posteriormente, a colonização foi avaliada, de acordo com Giovannetti & Mosse (1980) em microscópio óptico (40x), sendo realizada a contagem do n° total de raízes colonizadas e do número total de raízes e utilizada a fórmula:

$$PC (\%) = \frac{\text{n}^\circ \text{ total de raízes colonizadas} \times 100}{\text{n}^\circ \text{ total de raízes}}$$

A dependência micorrízica (DM) das plantas foi calculada, de acordo com Gendermann (1975), utilizando a seguinte fórmula:

$$DM (\%) = \frac{(MSTPM - MSTPNM) \times 100}{MSTPM}$$

Sendo MSTPM a massa seca total das plantas micorrizadas e MSTPNM a massa seca total das plantas não micorrizadas.

Os parâmetros de fluorescência foram medidos em um trifólio visualmente sadio e totalmente expandindo, após os 120 dias do transplante das mudas, utilizando um fluorômetro modulado modelo Junior Pam (®Walz, Alemanha), no período de início da manhã. A fluorescência inicial (F_o) e a fluorescência máxima (F_m) foram medidas antes e depois, respectivamente, das folhas receberem um pulso de luz saturante de $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a fluorescência variável (F_v) foi calculada com base no incremento da fluorescência inicial até a máxima ($F_m - F_o$). A eficiência fotoquímica máxima do PSII foi calculada como a razão da fluorescência variável sobre a máxima (F_v/F_m) (LICHTENTHALER, 1987).

Os teores de clorofilas a (Chl a) e b (Chl b) e carotenoides totais foram determinados a partir do mesmo trifólio utilizado na análise de fluorescência, amostras desses trifólios foram coletadas e acondicionadas imediatamente em freezer a -4°C até o momento das análises. As

amostras foram trituradas e homogeneizadas em 5 ml de acetona 80% (v/v), e posteriormente vertidas em tubos de 15 ml, centrifugadas a 4000 rpm durante 3 min. As absorbâncias do sobrenadante foram medidas a 480, 645 e 663 nm, utilizando um espectrofotômetro UV-VIS, sendo as concentrações dos pigmentos calculadas de acordo com Hendry & Price (1993).

Para o conteúdo de glomalina facilmente extraível no solo utilizou-se a metodologia proposta por Weight & Upadhyaya (1998). Para preparação das amostras depositou-se 2 g de solo seco em temperatura ambiente, dentro de tubos Falcon de 15 ml com 8 ml de citrato de sódio (20 mM e pH 7,0), as amostras foram posteriormente autoclavadas por 30 minutos a 121 °C. Após, estas foram centrifugadas a 3.500 rpm por 15 minutos. O sobrenadante foi coletado e transferido para microtubos. Para a quantificação da concentração de glomalina, pipetou-se 500 µl da amostra, adicionando 500 µl de tampão (citrato de sódio) e 1 ml do reagente de Bradford, agitou-se manualmente três vezes, deixando, posteriormente, as amostras em repouso por 5 min e após realizada a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm.

O teor de carbono orgânico do solo foi quantificado através da metodologia de Yeomans & Bremner (1988), para qual pesou-se, em tubos de digestão, 0,6 g de solo, anteriormente moído em almofariz. Em cada tubo foram adicionados 5 mL de solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ mol l⁻¹) e 7,5 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Em seguida os tubos foram alocados no bloco digestor a 170 °C, por 30 minutos. Após esfriar por 15 minutos, o conteúdo dos tubos foi vertido em Erlenmeyer, sendo completado com água destilada até o volume final de 80 mL. Para a quantificação dos teores de carbono foi realizado titulação, com sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹, até a amostra passar da coloração verde para violeta-escuro.

Os resultados foram submetidos a análises de variância e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Os dados foram analisados com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), considerando como referência os níveis de significância maiores que 95% ($p \leq 0,05$).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de planta não evidenciou diferença significativa entre as espécies de FMAs inoculadas nas plantas da cultivar Aromas, mas induziu altura, em média 48% maior que a planta controle na cultivar Albion, evidenciando a inoculação da cultivar Albion com *G. rosea* que possibilitou altura equivalente a cultivar Aromas (Tabela 2). Stewart et al. (2005) observaram que a inoculação apenas de *G. interadices* proporcionou maior crescimento das

plantas de morangueiro, do que a inoculação com a mistura das espécies *G. interadices*, *G. mosseae* e *G. etunicatum*, o que pode ser consequência da especificidade de cada espécie. Krishna et al. (2005) obtiveram valores significativamente superiores em todos os tratamentos inoculados com FMAs em relação ao controle não inoculado para a maioria dos parâmetros de crescimento estudados em plântulas de videira (*Vitis vinífera*). Os fungos micorrízicos arbusculares alteram de forma significativa o metabolismo das plantas, elevando o nível de atividade enzimática, aumentando a abertura estomática e gerando maior absorção de CO₂, o que aumenta as taxas fotossintéticas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), podendo influenciar positivamente no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Tabela 2. Altura, número de folíolos (NF), diâmetro do colo (DC) e volume de raiz (VR) de plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, cultivadas em solo, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*.

Inoculação	Altura (cm)		NF		DC (mm)		VR (cm ³)	
	Aromas	Albion	Aromas	Albion	Aromas	Albion	Aromas	Albion
Controle	7,76aA	3,70bB	17bA	8bB	9,23bA	6,77bB	9,37bA	3,17bB
<i>G. margarita</i>	9,17aA	7,65aB	23abA	26aA	10,16abA	9,54aA	18,62aA	9,75aB
<i>G. rosea</i>	7,25aA	6,65aA	25aA	24aA	9,49abA	10,11aA	14,00abA	9,62aB
<i>A. colombiana</i>	9,16aA	7,20aB	26aA	23aA	11,28aA	10,82aA	18,75aA	12,62aB
CV (%)	13,87		15,50		10,32		22,14	

Fonte: Autor.

*Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O número de folíolos e o diâmetro de coroa das plantas de morangueiro foram maiores com a inoculação dos FMAs, não diferindo entre as três inoculações (Tabela 2). Plantas de cebola (*Allium cepa*) inoculadas com *Glomus fasciculatum* apresentaram maior altura e número de folhas em relação as plantas com ausência de micorrização e fertilizadas com adubo químico (RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007).

O volume de raiz foi superior na cultivar Aromas, sendo que as plantas inoculadas apresentaram maior volume de raiz, em média 43% maior na cultivar Aromas e 78% na cultivar Albion em comparação ao volume radicular das plantas não micorrizadas; contudo, não houve diferença entre os isolados para ambas as cultivares (Tabela 2). Em estudo realizado por Sinclair et al. (2014), a inoculação das espécies *F. caledonius*, *R. irregulares*, *F. mosseae* promoveu aumento no volume radicular, assim como demais parâmetros radiculares de plantas de morangueiro em relação as plantas não micorrizadas, indicando uma forte relação entre espécies de FMAs e o sistema radicular das plantas.

As plantas micorrizadas apresentaram maior teor de massa seca da parte aérea (MSPA), não diferindo entre as inoculações, sendo maior na cultivar Aromas apenas no controle (Tabela 3). Estudando a inoculação de plantas de morangueiro das cultivares Albion, Seascape e Charlotte, Sinclair et al. (2014) não obtiveram relação positiva entre porcentagem de colonização e a biomassa das plantas, sendo que as cultivares com menor porcentagem de colonização apresentaram maior massa fresca e seca da parte aérea. A associação de *Glomus mosseae* em plantas de tomateiro resultou em um aumento de 228% na matéria seca da parte aérea das plantas em relação as plantas com ausência de micorrização (LATEF & CHAOXING, 2011). A elevação das taxas fotossintéticas obtidas em estudo conduzido com plântulas de *Vitis vinifera* inoculadas com FMAs, sugerem que as plantas micorrizadas podem assimilar maior quantidade de CO₂ e, assim, acumular maior biomassa, implicando em maior crescimento vegetativo e, conseqüentemente, um melhor desenvolvimento das plantas, mesmo sob condições ambientais desfavoráveis ou de estresse (KRISHNA et al., 2005).

Tabela 3. Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca da coroa (MSC), massa seca de estolão (MSE) de plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, cultivadas em solo, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*.

Inoculação	MSPA (g)		MSR (g)		MSC (g)		MSE (g)	
	Aromas	Albion	Aromas	Albion	Aromas	Albion	Aromas	Albion
Controle	0,98bA	0,26cB	0,97cA	0,33bB	0,21aA	0,07bB	0,26cA	0,28bA
<i>G. margarita</i>	2,32aA	2,64aA	3,13aA	1,79aB	0,32aA	0,33aA	4,44aA	2,52aB
<i>G. rosea</i>	1,88aA	1,83aA	2,05bA	1,30aB	0,22aA	0,30aA	2,15bA	2,99aA
<i>A. colombiana</i>	2,21aA	2,60aA	2,37bA	1,57aB	0,30aA	0,36aA	2,36bA	2,62aA
CV (%)	16,19		22,93		20,98		36,06	

Fonte: Autor.

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A massa seca radicular (MSR) também foi superior nas plantas micorrizadas, sendo os isolados *G. rosea* e *A. colombiana* superiores ao *G. margarita*. As cultivares diferiram entre si com maior valor de MSR nas plantas da cultivar Aromas em todos os tratamentos (Tabela 3). A maior colonização micorrízica em plantas de morangueiro da cultivar Charlotte, resultou em maior conteúdo de massa seca, comprimento e volume do sistema radicular (SINCLAIR et al., 2014). Já Salgado-Barreiro et al. (2012), não observaram diferença significativas na massa seca de raízes em plantas de morangueiro da cultivar Camino Real associadas a inóculo micorrízico, o que pode ser influência da especificidade das cultivares em relação a micorrização.

A massa seca de coroa (MSC) não diferiu entre os tratamentos para a cultivar Aromas, enquanto para a cultivar Albion as plantas micorrizadas apresentaram, em média 371% mais MSC em relação ao controle (Tabela 3). Os fungos micorrízicos arbusculares além de melhorar a nutrição das plantas, servindo como biofertilizantes, influenciam no desenvolvimento, aliviando os efeitos dos estresses ambientais, resultando em qualidade de planta e maior rendimento de biomassa (ANTUNES et al., 2012). Em estudo com plantas de tomateiro cereja inoculadas com *Glomus fasciculatum*, Gomes Júnior et al. (2011), obtiveram maior diâmetro de caule e incremento significativo de 38% na massa seca de raiz em relação as plantas não micorrizadas.

A maior massa seca de estolão (MSE) foi obtida na cultivar Aromas inoculadas com *G. margarita*, sendo superior aos demais isolados e a cultivar Albion, que apresentou maior MSE com a inoculação dos FMAs em relação ao tratamento controle (Tabela 3). A inoculação das espécies *Glomus interadices*, *Glomus etunicatum* e *Glomus* sp. em plantas de morangueiro, proporcionou aumento significativo na produção de estolões pelas plantas, de 57%, 69% e 76%, respectivamente (NIEMI & VESTBERG, 1992). Esse resultado reforça os benefícios proporcionados pelos FMAs também para a produção de novas mudas morangueiro.

A inoculação das plantas de morangueiro com *G. rosea* e *A. colombiana* resultou em teor significativamente maior de fósforo na parte aérea na cultivar Albion, em relação ao tratamento controle, enquanto que a cultivar Aromas inoculada com *G. rosea* apresentou menor teor de P em relação ao controle (Tabela 4). A simbiose de FMAs aumentam a ocorrência de íons fosfatos relativamente imobilizados e insolúveis no solo, devido às interações destes com cátions bi e trivalentes do solo (Ca^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+}) (TINKER & NYE, 2000; FITTER et al., 2011). Minhoni & Auler (2003) consideram os FMAs vitais as plantas, uma vez que podem proporcionar aumentos de até 80% na absorção de P do solo. A importância desta simbiose está na capacidade dos FMAs em desenvolver uma rede de hifas externas capazes de ampliar a área superficial em até 40 vezes, aumentando, assim, o volume explorável do solo para a absorção de nutrientes (GIOVANNETTI et al., 2001).

Os demais teores dos macronutrientes N e K na parte aérea das plantas não diferiam significativamente entre as plantas inoculadas e controle, diferindo apenas entre as cultivares, sendo que a aromas apresentou maior teor de N e K em comparação a cultivar Albion, com a inoculação de *A. colombiana*. (Tabela 4). Segundo Siqueira, Lambais e Stürmer (2002) a contribuição dos FMAs na absorção de N pode chegar a 25% e 60% para potássio, esta maior absorção de nutrientes normalmente proporcionada pelos FMAs é resultado do aumento na capacidade de absorção das raízes devido a maior acessibilidade aos nutrientes, proporcionada

pelas hifas e micélio externo dos fungos, através da solubilização e mineralização dos nutrientes presentes da rizosfera. Quando a difusão química de nutrientes é limitante, as hifas fúngicas, em decorrência do seu pequeno diâmetro e extensa ramificação, podem aumentar a área de absorção de nutrientes pelas raízes em até 700% (MINHONI & AULER, 2003).

Tabela 4. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea das plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, cultivadas em solo, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*.

----- Foliar -----						
Inoculação	N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)	
	Aromas	Albion	Aromas	Albion	Aromas	Albion
Controle	21,0aA*	22,7aA	1,3aA	0,05bB	1,61aA	1,19aB
<i>G. margarita</i>	17,2aA	18,3aA	1,1abA	0,08abB	1,69aA	1,54aA
<i>G. rosea</i>	22,2aA	20,4aA	0,7bA	0,10aA	1,77aA	1,53aA
<i>A. colombiana</i>	22,1aA	17,8aB	1,0abA	0,07abA	1,99aA	1,60aB
CV (%)	12,33		19,28		12,15	
----- Radicular -----						
Inoculação	N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)	
	Aromas	Albion	Aromas	Albion	Aromas	Albion
Controle	16,9aA	10,8bA	0,7abA	0,2bB	6,3abA	1,3bB
<i>G. margarita</i>	10,5bA	13,7abA	0,5bB	1,0aA	5,3bA	4,8aA
<i>G. rosea</i>	15,7aA	16,9aA	0,8abA	1,0aA	5,5bA	4,5aA
<i>A. colombiana</i>	12,8abA	15,4abA	1,1aA	1,1aA	7,1aA	5,3aB
CV (%)	12,33		20,89		13,57	

Fonte: Autor.

*Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para o teor de N radicular, houve efeito positivo da inoculação apenas para *G. rosea* nas plantas de Albion, a qual apresentou maior teor de N nas raízes, não diferindo estatisticamente das demais inoculações, com exceção do controle (Tabela 4). A maior absorção de N pelas raízes, além de ser beneficiada pelas hifas fúngicas, pode também estar relacionada a capacidade fotossintética das plantas de morangueiro de absorver nitrogênio, uma vez que esta, varia de uma planta para outra dentro da mesma cultivar, ocorrendo assim, uma combinação entre planta e FMA, confirmando a conexão mutualista entre o simbionte e o hospedeiro (TOMÈ et al., 2015).

Em estudo com plântulas de *Vitis vinifera*, a absorção de N e P foi significativamente aumentada pela inoculação dos FMAs, quando utilizado mistura de FMAs, estas proporcionaram duas vezes mais P em comparação com as plantas controle, enquanto as plântulas inoculadas com *E. colombiana* registraram o teor máximo de nitrogênio seguido por

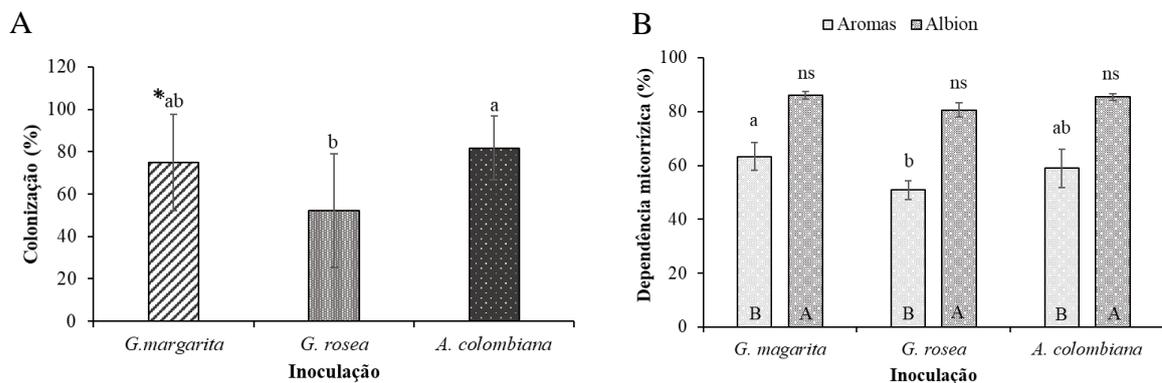
A. laevis (KRISHNA et al. 2005). Segundo os mesmos autores, o aumento na absorção de fósforo devido a simbiose com FMAs, pode resultar em aumento no nível da enzima nitrato redutase (NR), e conseqüentemente no teor de nitrogênio nas folhas das plantas micorrizadas, pois quando a planta está em estresse, nesse caso, devido ao baixo teor de fósforo natural do solo, a atividade da NR sofre um declínio acentuado levando a uma baixa assimilação de N e conseqüentemente menor crescimento e desenvolvimento das plantas.

A espécie *A. colombiana* proporcionou maior teor de K nas raízes das plantas em ambas as cultivares, não diferindo estatisticamente do controle para a cultivar Aromas (Tabela 4). Oliveira, Oliveira e Figueiredo (2003) trabalhando com plantas de bananeira inoculadas com FMAs, observaram correlações positivas significativas entre o teor de K e a porcentagem de colonização micorrízica, o que permitiu os mesmos inferir que a associação micorrízica estimula a absorção de potássio pelas plantas. O mesmo pode ser observado nesse trabalho no qual a *A. colombiana* apresentou maior porcentagem de micorrização.

As cultivares não diferiram significativamente, para porcentagem de colonização, entretanto, a inoculação com *A. colombiana* induziu maior porcentagem de colonização micorrízica em ambas as cultivares, não diferindo da inoculação com *G. margarita* (Figura 1A), com produção de hifas e esporos mais acentuada (Figura 2E e 2F). Cecatto (2014), avaliando colonização micorrízica em plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion inoculadas com três espécies de FMAs, obteve 80% de colonização final, para ambas as cultivares, independentemente do isolado. Em estudo com plantas de morangueiro, Matsubara, Ishigaki e Koshikawa (2009) obtiveram maior colonização micorrízica em plantas inoculadas com *G. margarita* do que plantas inoculadas com *G. aggregatum*, de modo que a porcentagem de colonização está relacionada à afinidade com o hospedeiro, podendo causar diferença no efeito da colonização. O elevado número de raízes finas, pelos radiculares e da área superficial em raízes de morangueiro, facilitam a penetração por fungos micorrízicos, possibilitando maior colonização micorrízica nas plantas quando na presença de FMAs (DERKOWSKA et al., 2008).

A dependência micorrízica foi maior na cultivar Albion, não diferindo entre inoculações, enquanto na cultivar Aromas o isolado *G. margarita* apresentou maior dependência micorrízica (63%), não diferindo estatisticamente de *A. colombiana* (59%) (Figura 1B). A dependência micorrízica demonstra o quanto a planta é dependente do fungo para alcançar seu máximo crescimento e rendimento em um nível determinado de fertilidade do solo (BRUNDRETT, 1991). Cecatto (2014), trabalhando com plantas de morangueiro cultivar Aromas e Albion cultivadas em substratos e inoculadas com FMAs, obteve dependência

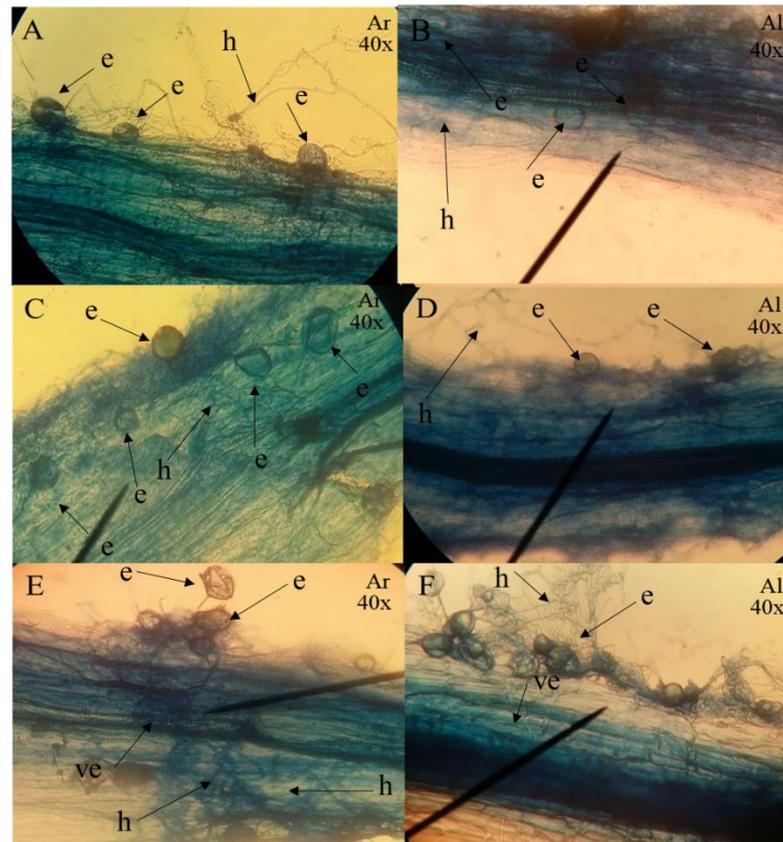
micorrízica apenas na cultivar albion em relação a aromas, sendo que nesta houve total ausência de dependência. Segundo Menge, Johnson e Plattf (1978) o grau de dependência varia dentro das espécies dos hospedeiros. O controle da eficiência ocorre através da genética e da interação planta e fungo, além das condições ambientais (DECLERCK et al., 1995). Portanto, a seleção de cultivares de morangueiro com grau elevado de dependência micorrízica seria uma alternativa para minimizar a dependência por adubos fosfatados (TRINDADE; SIQUEIRA; ALMEIDA, 2001).



Fonte: Autor.

Figura 1. Porcentagem de colonização micorrízica (A) e Dependência micorrízica (B) de plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion cultivadas em solo sem inoculação (Controle) e inoculados com os isolados *Gigaspora margarita*; *Gigaspora rosea* e *Acaulospora colombiana* *Valores seguidos de mesma letra, maiúscula para cultivar e minúscula para inoculação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As respostas das plantas de morangueiro a inoculação de FMAs podem variar de acordo com a espécie (KHANIZADEH et al, 1995; MARK & CASSELS 1996, MURPHY; RAFERTY; CASSELL, 2000), pois as interações entre hospedeiro e simbiote dependem do grau de compatibilidade destes, uma vez que algumas combinações entre planta e fungo podem ser mais benéficas que outras (KLIRONOMOS, 2003). Nesse sentido, em estudo realizado por Sinclair et al. (2014), as cultivares testadas (Albion, Seascape e Charlotte), responderam de maneira distinta a diferentes espécies de FMAs inoculadas, onde pode ser observado, inclusive, efeito negativo das espécies *F. caledonius* e *S. mosseae* sobre a cultivar Charlotte, ocorrendo um menor crescimento das plantas inoculadas.



Fonte: Autor.

Figura 2. Presença de estruturas fúngicas: esporos (e), hifas (h) e vesículas (ve), nas raízes de morangueiro em cultivares Aromas (Ar) e Albion (Al), com aumento de 40x, ao final de 120 dias, inoculadas com os isolados *Gigaspora margarita* (A e B), *Gigaspora rósea* (C e D) e *Acaulospora colombiana* (E e F).

Houve interação significativa entre as inoculações e as cultivares para os teores de glomalina facilmente extraível do solo. A inoculação com *G. rosea* nas plantas da cultivar Aromas apresentou o maior teor de glomalina no solo, diferindo estatisticamente apenas das plantas controle. Já para a cultivar Albion a inoculação com *G.rosea*, apresentou o menor valor (Tabela 5). Os FMAs, através da produção de uma glicoproteína denominada glomalina, são responsáveis por contribuir na estabilidade de agregados, além de ser considerada um importante meio de armazenamento de nitrogênio e carbono no solo (WRIGHT et al., 2007; FOKOM et al., 2012). Mais de 80% da disposição de glomalina liberada no solo é resultando da decomposição de esporos e hifas (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005). O curto período de condução do experimento pode ter influenciado no conteúdo de glomalina nas plantas inoculadas, não diferindo estatisticamente para a maioria dos tratamentos, devido a hifas e os

esporos não terem entrado em fase de decomposição, conseqüentemente produzindo pequena quantidade de glomalina no solo.

Os teores de Carbono orgânico no solo não diferiram significativamente entre os tratamentos e cultivares, resultando em valores muito próximos entre os mesmos (Tabela 5). Os fungos micorrízicos arbusculares constitui um grupo-chave funcional de microrganismos do solo, os quais estão envolvidos no sequestro de carbono oriundo das plantas (OLSSON & JOHNSON, 2005), e na aquisição de nutrientes para estas (FITTER et al., 2011). Os fungos micorrízicos são altamente dependentes de suprimento de carbono orgânico das plantas (TOMÈ et al., 2015). Em torno de 4 a 20% do carbono fixado na fotossíntese é transferido aos FMAs (GRAHAM, 2000; SMITH & READ, 2008), os quais são utilizados pelos fungos na produção das estruturas fúngicas vegetativas e reprodutivas, assim como suporte para a própria respiração (JONES et al., 2009; KRAMER et al., 2012). Essa transferência de carbono leva algumas horas, e depois de alguns dias o carbono que é assimilado para respiração e formação das estruturas torna-se precursor da formação de carbono orgânico no solo estável (BRADFORD et al., 2013).

Tabela 5. Conteúdo de glomalina e teores de carbono orgânico total (COT) no solo cultivado com plantas de morangueiro das cultivares Aromas e Albion, sem (Controle) e com a inoculação de *G. margarita*, *G. rosea* e *A. colombiana*.

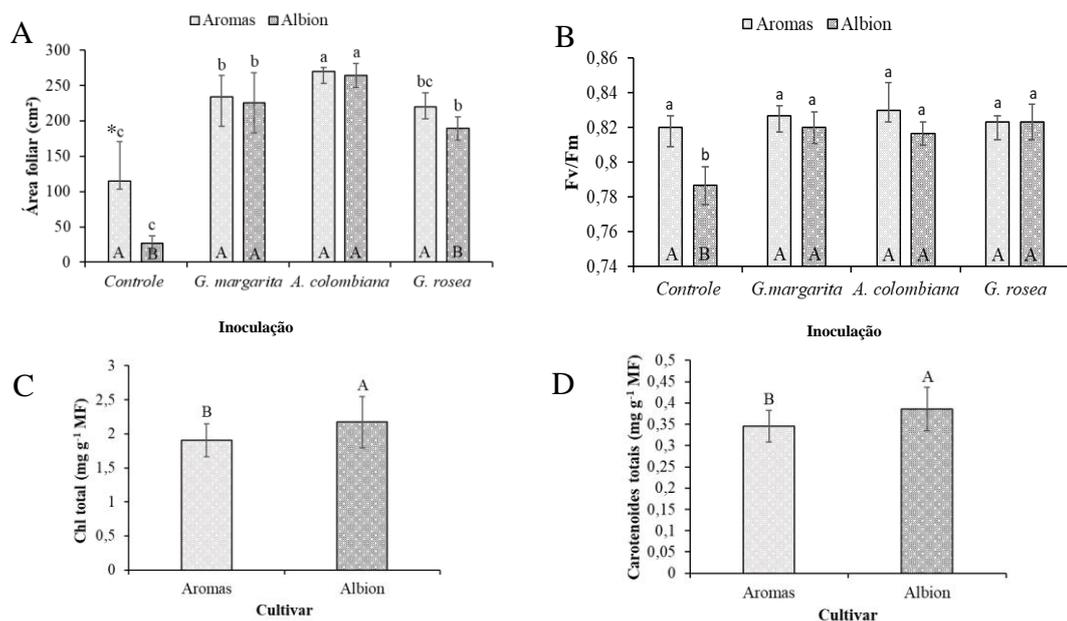
Inoculação	Glomalina (mg ml ⁻¹)		COT (g kg ⁻¹)	
	Aromas	Albion	Aromas	Albion
Controle	27,35bA*	36,30aA	8,55ns	9,27ns
<i>G. margarita</i>	42,56abA	34,03aA	8,31ns	7,87ns
<i>G. rosea</i>	50,50aA	24,93bA	9,18ns	8,07ns
<i>A. colombiana</i>	38,30abA	30,44aA	8,27ns	8,13ns
CV (%)	25,31		8,67	

Fonte: Autor.

*Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ns: Tratamentos não significativos estatisticamente.

Houve efeito positivo da micorrização sobre a área foliar das plantas, influenciando positivamente a biomassa das mesmas, pois as plantas inoculadas obtiveram maior área foliar, maior MSPA, altura e DC. As cultivares diferiram significativamente entre si para as plantas controle e com inoculação de *G. rosea*, para as quais, a cultivar Aromas apresentou área foliar mais elevada. A inoculação com *A. colombiana*, proporcionou os valores mais elevados de área foliar (Figura 3A). Relação positiva entre a área foliar e a biomassa de porta-enxertos de pessegueiro, foi obtida por Nunes et al. (2008) ao inocularem *Aucalospora* sp. nas plantas. Mudanças de maracujazeiro-doce, ao serem inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares,

sofreram incrementos significativos na sua área foliar, assim como na altura, matéria seca da parte aérea e diâmetro do caule em teores de 0 e 15 mg dm⁻³ de P (VITORIZZI FILHO et al., 2012), teor semelhante ao encontrado no solo utilizado do presente estudo (Tabela 1). Martínez (2012) também observou aumento na área foliar das cultivares de morangueiro Albion e Jacona inoculadas com FMAs. Um aumento na área foliar implica em maior superfície para interceptação de luz, gerando assim taxas fotossintéticas mais elevadas (PARTELLI et al., 2006), promovendo maior crescimento e desenvolvimento da planta.



Fonte: Autor.

Figura 3. Área foliar (cm²) (A), eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) (B), teor de clorofila total (Chl total) (C), carotenoides totais (D). *Valores seguidos de mesma letra, maiúscula para cultivar e minúscula para inoculação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) apresentou interação significativa entre as cultivares e as inoculações, sendo as plantas controle da cultivar Albion o pior tratamento, as quais apresentaram o menor valor de eficiência (0,79). Já a cultivar Aromas apresentou valores mais próximos do valor de referência (0,83) para todos os tratamentos (Figura 3B). Valores de Fv/Fm menores que 0,83 são considerados indicativo de estresse (MAXWELL & JOHNSON, 2000). Em geral, todos os tratamentos apresentaram valores abaixo de 0,83, o que pode ser explicado pelo baixo teor de fósforo disponível no solo (14 mg dm⁻³). A cultivar Aromas foi superior a Albion, apresentando valores mais elevados,

acarretando em um nível de estresse nutricional menos acentuado. As relações entre a Fv/Fm, são as de maior representatividade do estado fotossintético da planta ou do estado de estresse da mesma (ROUSSEAU et al., 2013). O fósforo é um elemento que satisfaz os dois critérios de essencialidade às plantas, pois participa diretamente de funções e reações fisiológicas vitais para plantas e indiretamente, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida, uma vez que não pode este ser substituído por outro elemento (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2009). Os parâmetros de fluorescência da clorofila são utilizados principalmente para estudar a capacidade fotossintética das plantas, quantificando de forma qualitativa e quantitativa a absorção e o aproveitamento da energia luminosa no aparelho fotossintético (OLIOSI et al., 2017).

Não houve interação significativa entre cultivar e inoculações para o parâmetro clorofila total. Ao analisar o efeito simples dos fatores de variação evidenciou-se que o teor de clorofila total (chl a+ chl b), não diferiu entre as inoculações, apenas entre as cultivares, sendo a cultivar Albion superior a Aromas (Figura 3C). Plântulas de videira com ausência de FMAs apresentaram teores de clorofila inferiores em comparação às plantas inoculadas com os fungos, sendo observado juntamente um aumento da taxa fotossintética destas (KRISHNA et al., 2005). As clorofilas são pigmentos que tem a função de capturar luz utilizada na fotossíntese, sendo essenciais na conversão de energia luminosa em energia química, na forma de ATP e NADPH (TAIZ et al., 2017). Logo as clorofilas têm relação direta com a eficiência fotossintética da planta, e conseqüentemente, sobre seu crescimento e capacidade de adaptação sobre diferentes ambientes (JESUS & MARENCO, 2008).

Não houve interação significativa entre as cultivares e inoculações para os teores de carotenoides totais nas plantas de morangueiro (Figura 3D). Quando desmembrado em fator simples, apenas o fator cultivar demonstrou-se significativo, para o qual as plantas da cultivar Albion apresentaram teores mais elevados de carotenoides totais. Os carotenoides são pigmentos que captam luz e auxiliam no processo de fotossíntese, e além disso desempenham a função de antioxidante, eliminando radicais livres no sistema da planta, protegendo-a de danos por estresse oxidativo e doenças (KRISHNA et al., 2005). Esses mesmos autores observaram variações significativas nos teores de carotenoides de plântulas de videira inoculadas com FMAs, sendo todos os tratamentos com FMAs superiores ao controle.

3.6 CONCLUSÕES

A cultivar Aromas responde melhor à inoculação de FMAs em relação a cultivar albion.

O isolado *A. colombiana* coloniza amplamente as raízes das plantas de morangueiro da cultivares Aromas e Albion e promove valores de área foliar, diâmetro de coroa e volume radicular mais acentuados nas plantas.

A dependência micorrízica das plantas da cultivar Aromas foi maior para os isolados *G. margarita* e *A. colombiana*.

A inoculação de *A. colombiana*, *G. margarita* e *G. rosea*, em geral, elevam os teores de N, P e K nos tecidos das plantas de morangueiro da cultivar Albion. A eficiência fotoquímica máxima do PSII é aumentada na presença de FMAs apenas na cultivar Albion.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JÚNIOR, B et al. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.217-221, 2009.

ANTUNES, P. M. et al. **Linking soil biodiversity to human health: do arbuscular mycorrhizal fungi contribute to food nutrition?** In: WALL D. et al. (eds) Soil ecology and ecosystem services, 2012. p. 153-172.

ANTUNES, L. E. C.; PERES, N. A. Strawberry Production in Brazil and South America. **International Journal of Fruit Science**, v. 13, n. 1-2, p. 156–161, 2013.

BRADFORD, M. et al. Empirical evidence that soil carbon formation from plant inputs is positively related to microbial growth. **Biogeochemistry**, v. 113, n. 1-3, p. 271–81, 2013.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advanced Ecological Research**, v. 21, p. 171-313, 1991.

CECATTO, A. P. **Inoculação micorrízica: consequências no metabolismo e interferência na produção e qualidade de frutos de morangueiro no cultivo sem solo no Brasil e na Espanha.** 2014. 155f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2014.

COCCO, Carine et al. Produção de cultivares de morangueiro de dias-curtos na região de Pelotas-RS. In: Encontro de Pós-Graduação UFPel, 13., 2011, Pelotas/RS. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2011. Não paginado.

DECLERCK, S.; PLENCHETTE, C.; STRULLU, D. G. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. **Plant and Soil**, v. 176, n. 1, p. 183–187, 1995.

DERKOWSKA, E. et al. The influence of mycorrhization and organic mulches on mycorrhizal frequency in apple and strawberry roots. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 16, p. 227-242, 2008.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FITTER, A. H.; HELGASON, T.; HODGE, A. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture. **Fungal Biology Reviews**, v. 25, n. 1, p. 68-72, 2011.

FOKOM, R. et al. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid Forest zone of south Cameroon. **Soil & Tillage Research**, v. 120, p. 69-75, 2012.

GENDERMANN, J. W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: D. T. TORREY, J.G.; CLARSON (Ed.); **The development and Function of Roots**. London: Academic Press, 1975. p. 575-591.

GIANINAZZI, S. et al. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, n. 8, p. 519-530, 2010.

GIOVANNETTI, M. et al. The occurrence of anastomosis formation and nuclear exchange in intact arbuscular mycorrhizal networks. **New Phytologist**, v. 151, n. 3, p. 717-724, 2001.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. **New Phytologist**, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GOMES JÚNIOR, J. et al. Crescimento e produtividade de tomateiros do grupo cereja em função da aplicação de biofertilizante líquido e fungo micorrízico arbuscular. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 627-633, 2011.

GRAHAM, J. H. Assessing costs of arbuscular mycorrhizal symbiosis in agroecosystems. In: PODILA, G. K.; DOUDS, D. D. [eds]. **Current advances in mycorrhizae research**. St Paul: APS Press; 2000. p. 127-40.

HENDRY G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (eds). **Methods in Comparative Plant Ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p.148-152.

KRISHNA, H. et al. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 4, p. 554-567, 2005.

JESUS, S. V.; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p. 815-818, 2008.

- JONES, D. L.; NGUYEN, C.; FINLAY, R. D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1-2, p. 5–33, 2009.
- KHANIZADEH, S. et al. Effect of three vesicular-arbuscular mycorrhizae species and phosphorus on reproductive and vegetative growth of three strawberry cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 6, p. 1073-1070, 1995.
- KLIROMONOS, J. N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecology**, v. 84, n. 9, p. 2292-2301, 2003.
- KRAMER, S. et al. Carbon flow into microbial and fungal biomass as a basis for the belowground food web of agroecosystems. **Pedobiologia**, v. 55, n. 2, p. 111–9, 2012.
- LATEF, A. A. H. A.; CHAOXING, H. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 228-233, 2011.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- MARK, G. L.; CASSELLS, A. C. Genotype dependence in the interaction between *Glomus fistulosum*, *Phytophthora fragariae* and the wild strawberry (*Fragaria vesca*). **Plant and Soil**, v. 185, n. 2, p. 223-239, 1996.
- MARTINEZ, L. F. S. **Calidad y Rendimiento de Fresa Inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Producción Agrícola Sustentable) - Instituto Politécnico Nacional, Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación, Jiquilpan Mich, 2012.
- MATSUBARA, Y.; ISHIGAKI, T.; KOSHIKAWA, K. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 392–396, 2009.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- MENGE, B. J. A.; JOHNSON, E. L. V; PLATTF, R. G. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. **New Phytologist**, v. 81, n. 3, p. 553–559, 1978.
- MINHONI, M. T. A.; AULER, P. A. M. Efeito do fósforo, fumigação do substrato e fungo micorrízico arbuscular sobre o crescimento de plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 841–847, 2003.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: SIQUEIRA, J. O. & MOREIRA, F. M. S. (2 Ed). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. p. 399-471.
- MURPHY, J. G.; RAFERTY, S. M.; CASSELLS, A. C. Stimulation of wild strawberry (*Fragaria vesca*) arbuscular mycorrhizas by addition of shellfish waste to the growth substrate:

interaction between mycorrhization, substrate amendment and susceptibility to red core (*Phytophthora fragariae*). **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 2, p. 153-258, 2000.

NIEMI, M.; VESTBERG, M. Inoculation of commercially grown strawberry with VA mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, New York, v. 144, n. 1, p. 133-142, 1992.

NUNES, J. L. et al. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em porta-enxerto de pessegueiro cv. Okinawa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p.1100-1106, 2008.

OLIOSI, G. et al, Fluorescência transiente da clorofila a e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. **Coffe Science**, v. 12, n. 2, p. 248-259, 2017.

OLIVEIRA, A. N. OLIVEIRA, L. A. FIGUEIREDO, A. F. Colonização micorrízica e concentração de nutrientes em três cultivares de bananeiras em um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 3, p. 345-352, 2003.

OLSSON, P. A; JOHNSON, N. C. Tracking carbon from the atmosphere to the rhizosphere. **Ecology Letters**, v. 8, n. 12, p. 1264-70, 2005.

PARTELLI, F. L. et al. Estimativa da área foliar de cafeeiro Conilon a partir do comprimento da folha. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 204-210, 2006.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. **Calagem e adubação do morangueiro**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, Centro de Horticultura, 2013. 16p.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970.

REISSER JÚNIOR, Carlos; ANTUNES, Luís Eduardo Corrêa; RADIN, Bernadete. Produção de morango. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO E IV ENCONTRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL. Pelotas/RS. **Anais...** Pelotas/RS: Embrapa Clima Temperado, 2010, p. 63-69.

RODRIGUEZ, K. R.; ORTUÑO, N. Evaluación de micorrizas arbusculares en producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. **Acta Nova**, v. 3, n. 4, p. 697-719, 2007.

ROUSSEAU, C. et al. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2013.

SALGADO-BARREIRO, C. S. et al. Efecto de la inoculación con *Glomus intraradices* y de la fertilización nitrogenada en el crecimiento de plantas de fresa. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 3, v. 2, p. 171-179, 2012.

- SANTOS, A. M.; RIOS, S. A. Melhoramento genético do morangueiro. **Informe Agropecuário: Morango: conquistando fronteira**, v. 20, n. 198, p. 80–83, 1999.
- SAS PASZT, L. et al. The influence of bioproducts on root growth and mycorrhizal occurrence in the rhizosphere of strawberry plants ‘Elsanta’. **Journal of Fruit Ornamental Plant Research**, v. 19, n. 1, p. 13-34, 2011.
- SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376p.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- SINCLAIR, G. et al. Influence of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on three strawberry cultivars under salty conditions. **Agricultural and Food Science**. v. 23, n. 2, p. 146-158, 2014.
- SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: origem e características dos fungos Glomaleanos. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 25, p. 12-21, 2002.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed London, UK: Academic Press; 2008. 800 p.
- STEWART, L. I. et al. Response of strawberry to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under very high soil phosphorus conditions. **Mycorrhiza**, v. 15, n. 8, p. 612–619, 2005.
- TAIZ, L. et al. E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TARAFDAR, J. C.; MARSCHNER, H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with organic phosphorus. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 3, p. 387–395, 1994.
- TAYLOR, J.; HARRIER, L. A. A comparison of development and mineral nutrition of micropropagated *Fragaria×ananassa* cv. Elvira (strawberry) when colonised by nine species of arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 3, p. 205–215, 2001.
- TINKER, P. B.; NYE, P. H. **Solute Movement in the Rhizosphere**. Oxford: Oxford University Press, 2000. 464 p.
- TOMÈ, E.; TAGLIAVINI, M.; SCANDELLARI, F. Recently fixed carbon allocation in strawberry plants and concurrent inorganic nitrogen uptake through arbuscular mycorrhizal fungi. **Journal of Plant Physiology**, v. 179, p. 83–89, 2015.
- Transparency Market Research, 2014. **Biofertilizers (nitrogen fixing, phosphate solubilizing and others)**. In: Market for Seed Treatment and Soil Treatment Applications—global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2013–2019. Disponível em: < <https://www.transparencymarketresearch.com/>>. Acesso em 17 dez. 2017.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O.; ALMEIDA, F. P. DE. Dependência micorrízica de cultivars comerciais de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1485–1494, 2001.

VESTBERG, M.; KUKKONEN, S.; SAARI, K.; et al. Microbial inoculation for improving the growth and health of micropropagated strawberry. **Applied Soil Ecology**, v. 27, n. 3, p. 243–258, 2004.

VITORAZI FILHO, J. A. et al. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas sob diferentes doses de fósforo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 442-450, 2012.

VOS, C. et al. Mycorrhiza-induced resistance in banana acts on nematode host location and penetration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 47, p. 60–66, 2012.

WRIGHT, S. F. et al. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 546-549, 2007.

WRIGHT, S. F. UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.198, n. 1, p. 97-107,1998.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A. Rapid and precise method for routine determination of carbono in soil. **Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

4 CAPÍTULO II - COMPOSTOS ORGÂNICOS NA FORMULAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO

4. 1 RESUMO – A cultura do morangueiro é altamente dependente de fertilização e da qualidade física do substrato de cultivo. O uso de compostos orgânicos para formulação de substratos podem manter ou elevar o conteúdo de matéria orgânica do solo, condicionando a qualidade física e fornecendo um maior aporte de nutrientes as plantas. O composto de água residuária de suinocultura (CARS) compõe uma alternativa para formulação de substratos, ainda sem relatos científicos na cultura do morango. O objetivo do trabalho foi comparar o CARS com diferentes substratos formulados a partir de esterco bovino e vermicomposto no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (3 x 5) + 1, sendo 3 compostos orgânicos (CARS, esterco bovino e vermicomposto), cinco proporções (0, 10, 20, 30 e 40%), e mais a adubação mineral, com 6 repetições. Avaliou-se as características físicas dos substratos: porosidade total, espaço de aeração, capacidade de retenção de água, densidade aparente; e fenológicos: de altura, diâmetro de coroa, número de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea, radicular e de coroa e teor de NPK na parte aérea e radicular das plantas de morangueiro. O esterco bovino incrementa de forma crescente a massa seca das plantas de morangueiro. A proporção média de 49% proporciona maior altura, diâmetro de coroa e número de folhas das plantas de morangueiro, com equivalência entre os compostos orgânicos. O composto de água residuária de suinocultura possibilita maior absorção de fósforo e potássio pelas plantas, e em geral, proporciona melhores características físicas ao solo, mas não supre totalmente a quantidade de nitrogênio disponibilizado pela adubação mineral recomendada a cultura do morangueiro.

Palavras-chave: Composto de água residuária da suinocultura. Esterco bovino. Vermicomposto. Nutrição.

4. 2 ABSTRACT - The strawberry crop is highly dependent on fertilization and the physical quality of the growing substrate. The use of organic compounds to formulate substrates can maintain or elevate the organic matter content of the soil, conditioning the physical quality and providing a greater contribution of nutrients to the plants. The swine wastewater compost (CARS) composes an alternative for substrate formulation, still without scientific reports in the strawberry crop. The objective of this work was to compare the CARS with different substrates formulated from bovine manure and vermicompost in the development of neutral day strawberry plants. The experimental design was completely randomized, in a factorial arrangement (3 x 5) + 1, three organic compounds (CARS, bovine manure and vermicompost), five proportions (0, 10, 20, 30 and 40%), plus fertilization with 6 replicates. The physical characteristics of the substrates were evaluated: total porosity, aeration space, water retention capacity, bulk density; and height, crown diameter, number of leaves, leaf area, aerial shoot, root and crown mass, and NPK content in shoots and roots of strawberry plants. Bovine manure increasingly increases the dry mass of strawberry plants. The average proportion of 49% provides higher height, crown diameter and leaf number of strawberry plants, with equivalence between organic compounds. The swine wastewater system allows for greater absorption of phosphorus and potassium by the plants, and in general, provides better physical characteristics to the soil, but does not fully supply the amount of nitrogen provided by the recommended mineral fertilization to the strawberry crop.

Keywords: Swine wastewater compost. Bovine manure. Vermicompost. Nutrition.

4.3 INTRODUÇÃO

O Morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchene) é uma cultura exigente em fertilidade e qualidade física do substrato (ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011), respondem bem à adubação orgânica (FILGUEIRA, 2008), uma vez que esta melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, possibilitando melhor desenvolvimento das plantas (MELO; SILVA; DIAS., 2008).

Plantas de morangueiro cultivadas em sistema orgânico com utilização de composto orgânico no cultivo apresentam vida mais longa (REGANOLD et al., 2010), podendo ser utilizadas em novos ciclos de produção. Além de já ser uma prática amplamente difundida entre os produtores do Brasil e do mundo, devido a promoção de maior produtividade e menor custo para a cultura (SANTOS & MEDEIROS, 2003). Contudo, deve-se ter um cuidado, na proporção de composto orgânico utilizado, pois seu uso no substrato, se em grande quantidade, pode perturbar o equilíbrio entre nutrientes, aumentando a quantidade de sais, acarretando em salinização do solo (MANTOVANI et al., 2017), dificultando o desenvolvimento e crescimento das plantas (MELO, SILVA & DIAS, 2008), tendo em vista que o morangueiro é extremamente sensível a salinidade.

A utilização de esterco de animais e vermicomposto em morangueiro já tem sido relatada cientificamente em alguns estudos, demonstrando respostas promissoras quanto ao aumento na altura e número de folhas (RAYEES et al., 2017; YOUNAS & ALI, 2014), incremento na biomassa vegetal (ARANCON et al., 2004; AMERI et al., 2012), maior aporte nutricional as plantas (CABILOVSKI et al., 2014), entre outras.

O composto de água residuária da suinocultura (CARS) é um substrato à base de água residuária de suinocultura compostado com maravalha, ainda pouco conhecido, e sem relatos científicos na cultura do morango, porém, é rico nutricionalmente (PRÁ et al., 2005), uma vez que o dejetos de suínos aumenta o teor de fósforo no solo, possibilitando também maior ciclagem e disponibilidade de nutrientes (CERETTA et al., 2005). O esterco bovino já tem seu uso consolidado em cultivos de hortaliças, como o morango, pois contribui no condicionamento físico, químico e biológico do solo (FILGUEIRA, 2008), é uma boa fonte de fósforo, e em menor quantidade de N e K (HOLANDA, 1990), aumenta as taxas de mineralização de nutrientes, e conseqüentemente a disponibilidade destes as plantas (TEJADA et al., 2008). O vermicomposto é oriundo de uma compostagem de resíduos orgânicos, realizada por minhocas,

e como componente em substrato eleva os teores de matéria orgânica no solo, assim como dos nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas, além de promover mudanças positivas nos atributos físicos e biológicos, possibilitando maior crescimento das mesmas (VITTI, 2006; EDWARDS, 2004).

A qualidade física do substrato é fundamental para o morangueiro, podendo ser avaliada mediante vários atributos, como as características físicas densidade aparente, porosidade e capacidade de retenção de água que são importantes em se tratando de substratos para plantas (KÄMPF, 2008). A densidade aparente expressa a relação entre o volume de uma amostra de substrato e a massa desta, incluindo os espaços porosos (FERMINO & KÄMPF, 2012). A capacidade de retenção de água possibilita o manejo da irrigação das plantas, sendo imprescindível que se mantenha o equilíbrio entre a disponibilidade de água e o espaço de aeração, uma vez que, a falta deste pode acarretar em uma saturação dos poros e falta de oxigenação para as raízes, podendo levar a morte das plantas (LUDWIG, 2008). Já a porosidade total define o volume do substrato que não é ocupado por partículas, sendo aferido a partir da diferença do volume de sólidos e o volume total de uma amostra (ZORZETO et al., 2014).

Levando em consideração os atributos químicos, o uso de compostos orgânicos, podem manter ou elevar o conteúdo de matéria orgânica do solo, fornecendo um aporte maior de nutrientes as plantas (BATISTA et al., 2012). Uma parte dos nutrientes contidos nos compostos são mineralizados e absorvidos pelas plantas, e outra mobilizada pelos microrganismos do solo e passam a constituir o substrato (COSTA et al., 2007). Entretanto, a quantidade de composto a ser utilizado para a cultivo do morango, ainda não está bem esclarecida, principalmente no que se refere ao equilíbrio da quantidade de nutrientes necessários a cultura (PAULA et al., 2008).

Os compostos orgânicos no meio agrícola funcionam como um condicionador, melhorando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, fornecendo nutrientes e favorecendo o estabelecimento de raízes, promovendo maior crescimento e resistência as plantas (HENZ et al., 2007). Mediante isto, o objetivo do trabalho foi comparar o CARS com diferentes substratos formulados a partir de esterco bovino e vermicomposto no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria – *Campus* de Frederico

Westphalen – RS. As mudas de morangueiro foram transplantadas para vasos, os quais foram suspensos em bancadas, cada vaso continha uma planta, configurando uma unidade experimental. As mudas utilizadas foram oriundas de cultura de tecidos, produzidas pelo laboratório de Biotecnologia da Universidade de Passo Fundo – RS, totalmente isentas de patógenos. As mudas de dia neutro, cultivar aromas, foram aclimatadas em bandejas de 72 células, utilizando como substrato areia autoclavada, sendo aplicada, três vezes por semana, 1 ml de solução nutritiva, formulada de acordo com a recomendação para esta cultura (SBCS, 2016). As irrigações foram realizadas diariamente, com auxílio de uma pipeta automática, 10 ml/dia.

O solo utilizado foi um Nitossolo vermelho, coletado em área agrícola na camada de 0 – 20 cm. Para a formulação dos substratos, foram utilizados três compostos orgânicos: composto orgânico de água residuária de suinocultura (CARS), oriundo de uma unidade de criação de suínos com sistema de ciclo completo abrangendo a fase de leitão até a terminação, compostado com maravalha em um sistema de compostagem com aerador helicoidal por um período de 6 meses; esterco bovino, oriundo de uma propriedade familiar de bovinocultura de leite (EB), compostado por 3 meses; e vermicomposto (VC), produzido a partir de esterco de bovino sólido, juntamente com restos vegetais, utilizando minhocas da espécie *Eisenia andrei*, compostado por 4 meses. Foram realizadas a caracterização química dos nutrientes disponíveis nos substratos (Tabela 1), sendo o P extraído por solução de Mehlich⁻¹ e quantificado por espectrofotometria, o K extraído por solução de KCl e quantificado por fotometria de chama, e por espectrofotometria de absorção atômica determinou-se o Ca e Mg (SILVA, 2009). A matéria orgânica (MO) foi extraída pela oxidação do carbono por solução de dicromato de sódio e ácido sulfúrico e quantificada por colorimetria (YEOMANS & BREMNER, 1988).

As mudas aclimatadas foram transferidas para os vasos com capacidade de 1 litro, sendo uma muda por vaso. Os vasos foram preenchidos com os substratos (solo + composto orgânico) nas proporções 0, 10, 20, 30 e 40% de cada um dos compostos orgânicos (v/v). As unidades experimentais foram dispostas em bancadas de 1,20 m de altura, com espaçamento de 0,20 m entre vasos, em arranjo fatorial (3x5), sendo três compostos orgânicos (CARS, EB e VC) e cinco proporções (0, 10, 20, 30, 40%) (v/v), com 6 repetições. Um controle foi conduzido com adubação mineral (N, P e K), realizada no transplante e adubações de manutenção (N e K) de acordo com a recomendação para a cultura do morangueiro (PASSOS & TRANI, 2013). A irrigação foi realizada no período da manhã e da tarde, utilizando-se para isso um Becker graduado, adicionando ao substrato a quantidade de água necessária para mantê-lo em aproximadamente 80% da capacidade de campo.

Tabela 1. Caracterização química do composto de água residuária de suinocultura (CARS), esterco bovino e vermicomposto incorporados ao solo para crescimento e desenvolvimento de plantas de morangueiro da cultivar aromas.

Composto orgânico (%)	pH _{água} (1:1)	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	MO
		mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹				%
Solo (0)	5,9	490,6	95,2	3,17	60,2	1,22	3,54	1,02
----- CARS -----								
10	5,9	1.936	186,1	72,5	532	5,62	99,7	2,65
20	6,0	2.212	251,8	107,5	738	5,89	138,0	4,97
30	6,1	2.292	282,7	203,5	984	8,72	299,9	6,77
40	6,5	2.768	373,0	323,0	1.599	9,55	478,8	8,76
----- Esterco bovino -----								
10	5,9	1.822	228,1	35,1	1.476	14,38	14,3	1,92
20	6,8	1.767	290,3	145,0	3.198	12,36	24,5	3,58
30	6,6	1.998	357,7	163,3	3.690	11,38	39,1	4,06
40	6,8	1.765	331,7	288,3	5.289	9,38	37,4	5,18
----- Vermicomposto -----								
10	5,9	2.277	287,7	62,4	1.107	13,70	10,9	2,20
20	6,2	3.114	471,5	539,8	2.583	14,40	21,4	3,15
30	6,4	3.054	492,8	538,1	2.583	11,54	17,1	5,00
40	6,4	3.620	325,0	809,1	3.444	8,86	24,8	4,91

Fonte: Autor.

Com 120 dias, as plantas foram coletadas para avaliação fenológica. Foram determinados o número de folhas (trifólio), massa seca da parte aérea (MSPA) pesada com auxílio de uma balança analítica; volume de raiz (VR), com auxílio de uma proveta graduada; massa seca radicular (MSR), pesada em balança analítica; a altura de planta, com auxílio de uma régua graduada, medindo do início da coroa até o trifólio final; diâmetro de coroa (DC) medido com um paquímetro digital (@Black Jack); e massa seca de coroa (MSC), separando a coroa da parte aérea, pesada em balança analítica.

Os teores de nutrientes (N, P e K) foram extraídos a partir da massa seca foliar e radicular das plantas de morangueiro, através de digestão com ácido sulfúrico e quantificação dos teores por destilação para o nitrogênio, por espectrofotometria para o fósforo e fotometria de chama para o potássio, conforme Silva (2009).

A caracterização física dos substratos foi realizada no período de instalação do experimento, antes do plantio das mudas, sendo separadas quatro amostras de cada formulação feita a partir das proporções (0, 10, 20, 30, 40 %) de cada um dos compostos, sendo analisadas os parâmetros físicos: densidade aparente, capacidade de retenção de água (CRA), porosidade total (PT) e espaço de aeração (EA).

A densidade aparente foi quantificada de acordo com o método de auto compactação, para o qual, uma proveta plástica de 500 ml foi preenchida com 300 ml de amostra, em umidade atual. Posteriormente, esta proveta é deixada cair sobre seu próprio peso, de uma altura aproximada de 10 cm, por 10 vezes consecutivas. A superfície do substrato é levemente nivelada, com auxílio de uma espátula, e após lido e contabilizado o volume (MAPA, 2008). Para o cálculo da densidade utilizou-se a seguinte equação:

$$1) \text{ Densidade aparente} = D.\text{seca (kg/m}^3) = [(\text{Massa úmida da amostra (g)}/\text{volume (mL)}) \times 1000] \times [(100 - \text{Umidade Atual (\%)})/ 100].$$

Onde: Volume = volume obtido na proveta.

$$\text{Umidade atual} = [(\text{peso úmido da amostra} - \text{peso seco da amostra})/ \text{peso úmido da amostra}] \times 100.$$

A CRA foi quantificada em mesa de tensão, a partir da umidade volumétrica dada pelo percentual de água retida na amostra na tensão de 10 cm de coluna de água (MAPA, 2007). A análise foi realizada em quadruplicata, sendo o valor médio de CRA expresso em porcentagem, utilizando a seguinte equação:

$$2) \text{ CRA}_{10} (\% \text{ v/v}) = [(\text{Massa 1} - \text{Massa 2}) \times 100]/\text{Volume do anel (cm}^3)$$

Onde: Massa 1 = peso da amostra sob tensão de -10 kPa em gramas.

Massa 2 = peso da amostra seca em estufa

A porosidade total foi quantificada com equivalência ao teor de água, levando em consideração o volume da amostra, utilizando o peso das amostras saturadas, a 0 kPa (FERMINO, 2002).

$$3) \text{ PT (\%)} = [(\text{Massa 1} - \text{Massa 2}) \times 100]/\text{volume do anel (cm}^3)$$

Onde: Massa 1 = peso da amostra saturada em 0 kPa.

Massa 2 = peso da amostra seca em estufa

O espaço de aeração foi obtido em mesa de tensão, no ponto de saturação a -10 kPa (FERMINO, 2002).

$$4) \text{ EA (\%)} = [(\text{Massa 1(g)} - \text{Massa (-10kPa) (g)}) \times 100]/\text{volume do anel (cm}^3)$$

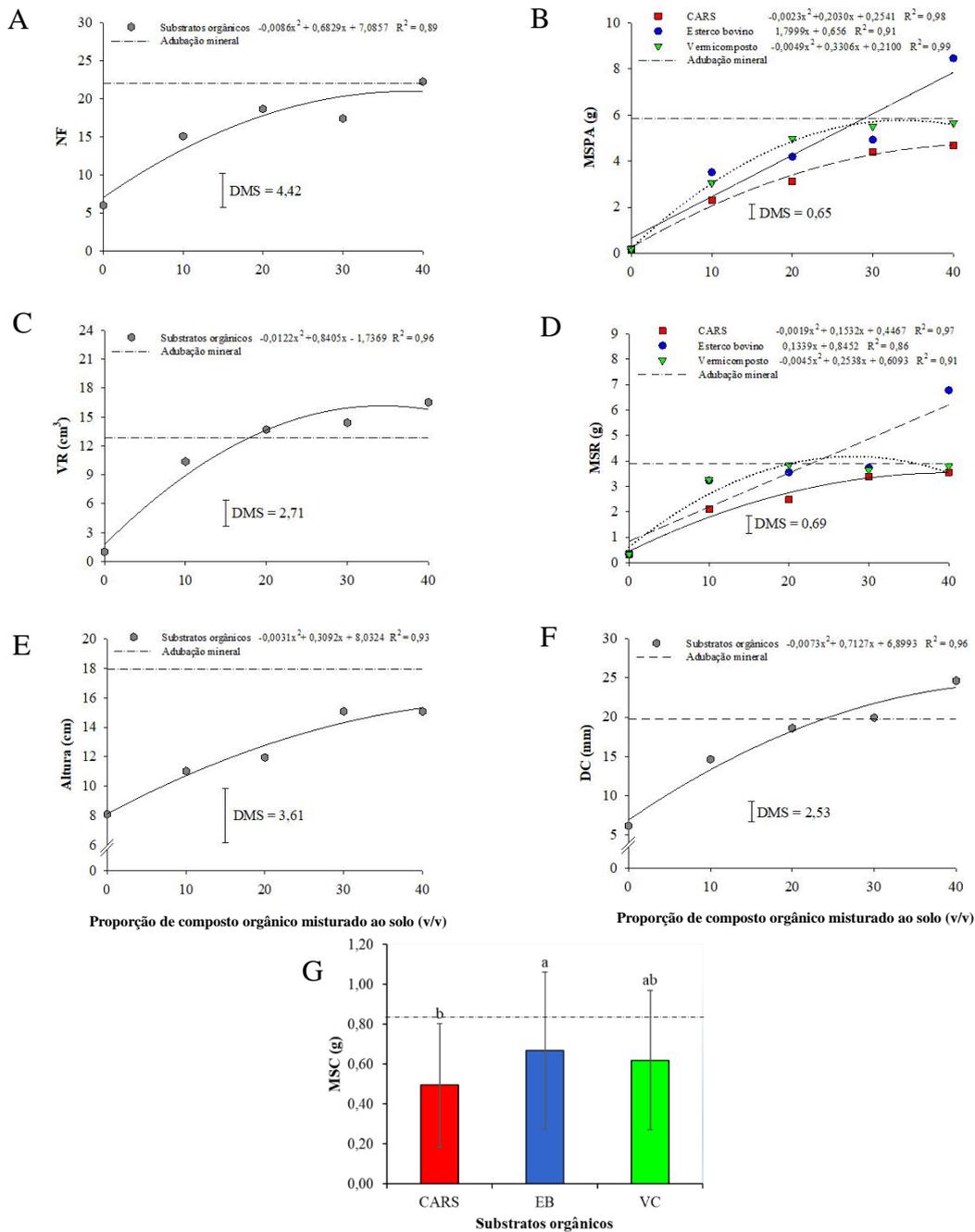
Onde: Massa 1 = peso da amostra saturada em 0 kPa.

Massa 2 = peso da amostra em sob tensão de -10 kPa em gramas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativa a interação, desdobraram-se os efeitos do fator qualitativo (substrato) dentro de cada nível do fator quantitativo (proporção de composto orgânico) sendo as médias do fator qualitativo comparadas pelo teste de Tukey e as do fator quantitativo pela análise de regressão. Quando não significativa a interação, analisou-se os efeitos simples de cada fator de variação, sendo o qualitativo pelo teste de Tukey e o quantitativo pela análise de regressão, utilizando-se para isto o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), tomando como base os níveis de significância maiores que 95% ($p \leq 0,05$). Para as variáveis com comportamento quadrático calculou-se o ponto de máxima e mínima resposta às proporções do composto para cada substrato.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre as proporções e os substratos para o número de folhas, apenas efeito simples das proporções, com resposta quadrática e ponto de máxima em 39,7%, se equivaleté ao número de folhas obtido nas plantas adubadas quimicamente de acordo com a recomendação para a cultura, (Figura 1A). A mistura de esterco de fazenda no solo em proporções aproximadas de 10% a 15% já proporcionou um incremento no crescimento e desenvolvimento das plantas de morangueiro, aumentando consideravelmente o número de folhas e o peso seco das plantas (ODONGO; ISUTSA; AGUYOH, 2008). A incorporação de vermicomposto em solo, proporcionou incremento no número de folhas de plantas de morangueiro, 41,65% maior em relação as plantas controle (solo) (RAYEES et al., 2017). Em estudo com aplicação de esterco de fazenda em plantas de morangueiro, Younas & Ali. (2014) obtiveram maior número de folhas nas plantas cultivadas com o composto orgânico quando comparadas ao controle, com ausência de fertilização, demonstrando os benefícios proporcionados pelos compostos orgânicos no crescimento das plantas, oriundo do maior aporte nutricional e melhoria das características físicas que compõe o substrato (HENZ et al., 2007).



Fonte: Autor.

Figura 1. Equações de regressão para número de folíolos (NF) (A), massa seca da parte aérea (MSPA) (B), volume de raiz (VR) (C), massa seca radicular (MSR) (D), diâmetro de coroa (E), altura de planta (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas cultivadas em substrato com diferentes proporções de composto de água residuária de suínos (CARS), esterco de bovino (EB) e vermicomposto (VC) e desdobramento simples significativo para o fator substrato para massa seca de coroa (MSC) (G). *A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morango.

A adição de esterco bovino (EB) ao solo possibilitou aumento linear para massa seca de parte aérea das plantas de morangueiro. A proporção de 40% de EB proporcionou maior incremento de MSPA em relação aos demais substratos orgânicos, sobrepondo-se aos valores de MSPA obtidos com a adubação mineral recomendada para as plantas (Figura 1B). Rodrigues et al. (2008), ao adicionar esterco bovino em solo para cultivo de rúcula em sistemas de vaso, obtiveram aumento na altura e incremento da MSPA das plantas. O esterco bovino é uma alternativa viável para composição de substrato, contribuindo para melhoria deste, pois melhora a qualidade física, além de fornecer nutrientes essenciais às plantas (WENDLING & GATTO, 2002), possibilitando o maior crescimento e desenvolvimento das mesmas.

Não houve interação significativa entre as proporções e os diferentes substratos orgânicos para o volume de raízes. Os substratos orgânicos não diferiram entre si para o volume radicular das plantas de morangueiro, ocorrendo apenas efeito significativo das proporções adicionadas. O volume radicular sofreu incremento com o aumento das proporções dos substratos adicionadas, com ponto de máxima com a adição de 34% de substrato orgânico, ultrapassando o volume radicular obtido pelas plantas adubadas com adubo mineral (Figura 1C). Resultados de pesquisa indicam que os substratos formulados a partir de compostos orgânicos proporcionam boa porosidade, drenagem adequada, boa capacidade de retenção de água, favorecendo o desenvolvimento e crescimento de raízes (TRANI et al., 2004; DINIZ; GUIMARÃES; LUZ, 2006) e conseqüentemente aumentando o volume radicular.

A matéria seca das raízes (MSR) apresentou interação significativa entre os fatores proporção e os diferentes substratos orgânicos. A adição de EB demonstrou comportamento linear com o aumento das proporções do composto, ultrapassado o valor de MSR das plantas de morangueiro adubadas quimicamente. O vermicomposto foi o segundo melhor tratamento, se equivalendo estatisticamente ao CARS, também alcançando a faixa promovida pela adubação mineral, com ponto de máxima incremento de MSR com adição de 28% para o vermicomposto e de 40% para o CARS (Figura 1D). Plantas de abobrinha cultivadas com vermicomposto, apresentaram incremento linear na massa seca de raízes assim como da parte aérea das plantas de acordo com o aumento na proporção de composto orgânico utilizado (ARMOND et al., 2016). A adição de vermicomposto ao solo aumenta significativamente o crescimento das plantas de morangueiro, podendo aumentar em torno de 37% a massa seca aérea e radicular das plantas (ARANCON et al., 2004). O composto orgânico atua como uma fonte de nutrientes e energia para as plantas e microrganismos, que no processo de decomposição promove a liberação contínua de CO_2 , NH_4^+ , íons de fósforo e enxofre, além de micronutrientes, que são importantes para o metabolismo das plantas (ARMOND et al., 2016).

Mesmo não sendo o de melhor tratamento, o CARS se equipareu ao vermicomposto e a adubação mineral promovendo assim adequado desenvolvimento das plantas de morangueiro.

Não houve interação significativa para o parâmetro altura de planta, tendo efeito significativo apenas do fator proporção, com efeito quadrático positivo e ponto de máxima com a adição de 49% de composto orgânico, se equivalendo a adubação mineral (Figura 1E). A adição de esterco bovino em solo para cultivo de plantas de alface, promoveu aumento linear da altura das plantas de acordo com o aumento das proporções utilizadas (MANTOVANI et al., 2017). A aplicação de esterco de fazenda na plantação de morangueiros, proporcionou incremento na altura de plantas e no número de folhas, aumentando consideravelmente a taxa de sobrevivência das mesmas (YOUNAS & ALI 2014). Pode-se inferir assim, que a presença do composto orgânico age positivamente no crescimento das plantas de morangueiro, podendo ser utilizado como alternativa a adubação mineral.

O diâmetro da coroa sofreu apenas efeito simples significativo das proporções dos compostos orgânicos, com ponto de máxima com a adição de 49% (Figura 1F). A massa seca de coroa teve efeito simples significativo apenas dos substratos, sendo o esterco bovino o composto que apresentou maior incremento, não diferindo do vermicomposto, já o CARS proporcionou menor incremento de coroa das plantas de morangueiro (Figura 1G). A aplicação de vermicomposto em solo para produção de morangueiro resultou em aumento no diâmetro da coroa das plantas, refletindo em maior produtividade das mesmas (AMERI et al., 2012). A aplicação de esterco de fazenda em morangueiro eleva produção de fotossintatos pela planta, devido ao incremento de fósforo promovido pelo composto, isso possibilita plantas com diâmetro de coroa mais elevado, resultando em melhor crescimento e plantas mais vigorosas e produtivas (ODONGO; ISUTSA; AGUYOH, 2008).

O CARS demonstrou equivalência aos demais substratos na maioria dos parâmetros fisiológicos, com exceção da MSC e MSPA das plantas (Figura 1). Em contrapartida, Monteiro et al. (2014), relataram aumento significativo na MSPA de plantas de alface, utilizando o CARS como substrato. O mesmo foi observado por Parizotto & Pandolfo (2009), os quais obtiveram aumento linear na MSPA de plantas de alface cultivadas com composto a base de dejetos de suínos. Com isso, e considerando os demais parâmetros, pode-se inferir que o uso do CARS como parte do substrato é viável para o desenvolvimento de plantas de morangueiro.

O detalhamento dos contrastes realizados pelo teste de Dunnett revelou superioridade significativa para altura, NF, MSPA, DC, MSC, VR e MSR das plantas cultivadas na presença dos compostos orgânicos (esterco bovino, CARS e vermicomposto) para todas as proporções,

em comparação com o controle (solo), ocorrendo uma elevação nas médias de acordo com o aumento das proporções incorporadas ao solo (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito das proporções (10, 20, 30, 40%) de Esterco bovino, CARS e vermicomposto adicionadas ao solo (v/v), comparadas pelo teste de Dunnett, sobre altura de planta, número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da coroa (DC), massa seca da coroa (MSC), volume radicular (VR) e massa seca de raízes (MSR) de plantas de morangueiro da cultivar Aromas, considerando 0% (solo) como controle.

Adubação	Altura (cm)	NF	MSPA (g)	DC (mm)	MSC (g)	VR (cm ³)	MSR (g)
----- CARS (%) -----							
0 (Solo)	8,10	6	0,175	6,17	0,056	1,0	0,334
10 %	12,57	18	2,307	13,76	0,415	7,1	2,104
20 %	10,30	18	3,117	19,00	0,574	10,6	2,478
30 %	12,48	19	4,404	21,31	0,684	14,5	3,377
40 %	14,50	22	4,694	23,43	0,743	16,6	3,552
C1	-3,963*	-2,862*	-3,844*	-3,904*	-2,528*	-2,810*	-3,240*
C2	-2,890*	-2,862*	-5,305*	-6,599*	-6,351*	-4,415*	-3,924*
C3	-3,916*	-3,160*	-7,625*	-7,787*	-4,426*	-6,193*	-5,571*
C4	-4,871*	-3,756*	-8,148*	-8,875*	-4,838*	-7,168*	-5,891*
----- Esterco bovino (%) -----							
Solo	8,10	6	0,175	6,17	0,056	1,0	0,334
10 %	10,00	11	3,513	15,31	0,561	12,4	3,225
20 %	10,20	13	4,192	16,53	0,723	15,0	3,551
30 %	17,90	16	4,929	21,53	0,890	15,9	3,726
40 %	17,08	23	8,462	27,55	1,112	18,9	6,779
C1	-3,646*	-1,490	-5,741*	-3,519*	-4,339*	-4,421*	-3,671*
C2	-2,540*	-1,987	-6,908*	-3,987*	-5,729*	-5,442*	-4,084*
C3	-5,785*	-2,767*	-8,176*	-5,912*	-7,163*	-5,782*	-4,307*
C4	-5,437*	-4,683*	-14,253*	-8,229*	-9,067*	-6,948*	-8,182*
----- Vermicomposto (%) -----							
Solo	8,10	6	0,175	6,17	0,056	1,0	0,334
10 %	10,50	16	3,053	14,83	0,548	11,6	3,257
20 %	15,37	17	4,983	16,97	0,731	12,9	3,643
30 %	16,75	23	5,512	20,28	0,816	14,1	3,796
40 %	13,65	24	5,653	22,93	0,949	15,5	3,842
C1	-3,352*	-2,242*	-4,350*	-3,585*	-4,305*	-3,892*	-5,086*
C2	-5,935*	-3,924*	-7,268*	-5,843*	-6,650*	-5,312*	-6,103*
C3	-6,664*	-2,522*	-8,066*	-4,471*	-5,911*	-4,350*	-5,756*
C4	-5,021*	-3,700*	-8,280*	-6,941*	-7,816*	-4,808*	-6,023*

Fonte: Autor.

⁽¹⁾ Médias seguidas de (*) diferenciam do controle 1 (solo) pelo teste de Dunnett (p<0,05).

As plantas de morangueiro expressam resposta positiva ao sistema orgânico, como fonte nutricional e condicionador de solo, demonstrando maior crescimento e melhor desenvolvimento, possibilitando uma vida mais longa (REGANOLD et al., 2010; BATISTA et al., 2012; HENZ et al., 2007). Os compostos orgânicos melhoram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, o que possibilita melhor desenvolvimento e maior crescimento das plantas de morangueiro (MELO; SILVA; DIAS., 2008), refletindo assim em maiores valores da matéria seca da planta, número de folhas, diâmetro de coroa e volume radicular.

A comparação dos arranjos com o controle (adubo mineral) revelou em geral efeitos não significativos. A adição de CARS diferiu significativamente para MSPA, MSC, VR e MSR na proporção de 10% e altura, MSPA e MSR, na proporção de 20%, os quais demonstraram valores inferiores à adubação mineral. Para o vermicomposto não houve diferença significativa para os parâmetros analisados. A adição de 40% de esterco bovino para as variáveis MSPA, DC, MSC e MSR demonstrou diferença significativa quando comparado a adubação mineral, sendo superior a esta (Tabela 3). Mantovani et al. (2017), reportaram aumento linear na massa seca das plantas de alface com adição de esterco bovino em solo com alto teor de argila. O esterco bovino é muito utilizado pelos produtores em hortaliças, como é o caso do morango, devido aos benefícios proporcionados a cultura, pois o mesmo melhora a qualidade física e fertilidade do solo ou substrato promovendo maior crescimento das plantas (FILGUEIRA, 2008). Pode-se inferir assim, que esterco bovino no solo proporciona maior desenvolvimento das plantas, equivalente ao proporcionado pela adubação mineral.

Para a porosidade total (PT) não ocorreu interação significativa entre as proporções e os diferentes substratos, ocorrendo apenas significância do fator proporção, com comportamento quadrático e ponto de máxima em 22% de composto orgânico (Figura 2A). A porosidade total em 85% é tomada como referência para uma boa porosidade no substrato (DE BOODT & VERDONCK, 1972), valor este, superior ao obtido com a adição dos compostos orgânicos. A PT regula a quantidade de água e de ar fornecidos as plantas e é regulada pelo tamanho das partículas do substrato. Quando adicionadas partículas muito finas ocorre um decréscimo da PT, resultando em problemas nas trocas gasosas, movimentação e drenagem da água, podendo levar à asfixia das raízes, comprometendo o desenvolvimento e crescimento da planta. (ZORZETO, 2011). Apesar de não alcançar o valor de referência, a adição dos compostos possibilitou um aumento na porosidade total em relação ao controle (solo), influenciando positivamente na qualidade física do substrato. O decréscimo nas proporções mais elevadas pode ter ocorrido devido a maior adição de partículas finas durante a homogeneização dos compostos ao solo, reduzindo a porosidade.

Tabela 3. Efeito das proporções (10, 20, 30, 40%) de Esterco bovino, CARS e vermicomposto adicionadas ao solo (v/v), comparadas pelo teste de Dunnett, sobre altura de planta, número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro da coroa (DC), massa seca da coroa (MSC), volume radicular (VR) e massa seca de raízes (MSR) de plantas de morangueiro da cultivar aromas, considerando a adubação mineral como controle.

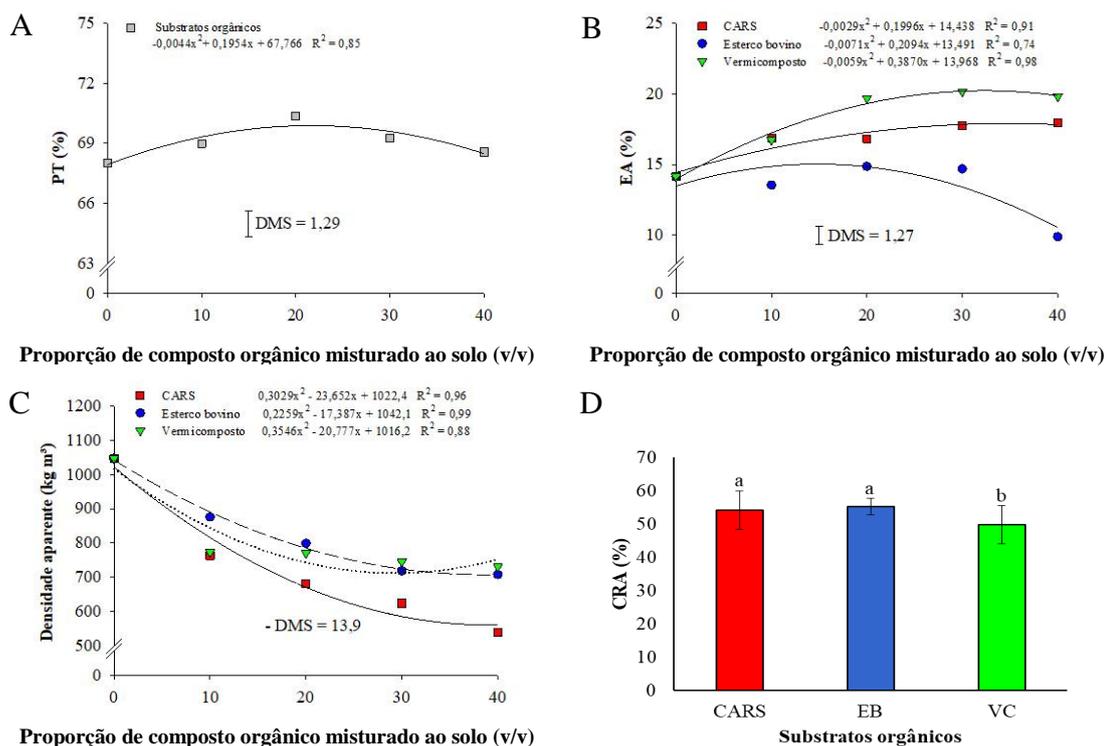
Adubação	Altura (cm)	NF	MSPA (g)	DC (mm)	MSC (g)	VR (cm ³)	MSR (g)
----- CARS (%) -----							
Mineral	17,95	22	5,839	19,78	0,848	12,8	3,906
10 %	12,57	18	2,307	13,76	0,415	7,1	2,104
20 %	10,30	18	3,117	19,00	0,574	10,6	2,478
30 %	12,48	19	4,404	21,31	0,684	14,5	3,377
40 %	14,50	22	4,694	23,43	0,743	16,6	3,552
C1	1,931	0,885	4,297*	2,409*	2,605*	2,277*	2,766*
C2	2,781*	0,885	3,311*	0,313	1,646	0,891	2,193*
C3	1,969	0,608	1,744	0,550	0,985	-0,644	0,812
C4	1,213	0,055	1,391	-1,457	0,633	-1,485	0,544
----- Esterco bovino (%) -----							
Mineral	17,95	22	5,839	19,78	0,848	12,8	3,906
10 %	10,00	11	3,513	15,31	0,561	12,4	3,225
20 %	10,20	13	4,192	16,53	0,723	15,0	3,551
30 %	17,90	16	4,929	21,53	0,890	15,9	3,726
40 %	17,08	23	8,462	27,55	1,112	18,9	6,779
C1	1,822	2,750*	2,770*	1,472	1,976	0,174	0,788
C2	2,705*	2,302*	1,963	1,072	0,861	-0,740	0,411
C3	0,018	1,599	1,084	-0,576	-0,289	-1,045	0,208
C4	0,311	-0,128	-3,124*	-2,558*	-1,817	-2,090*	-3,325*
----- Vermicomposto (%) -----							
Mineral	17,95	22	5,839	19,78	0,848	12,8	3,906
10 %	10,50	16	3,053	14,83	0,548	11,6	3,257
20 %	15,37	17	4,983	16,97	0,731	12,9	3,643
30 %	16,75	23	5,512	20,28	0,816	14,1	3,796
40 %	13,65	24	5,653	22,93	0,949	15,5	3,842
C1	3,082	1,258	3,107	1,720	2,092	0,415	0,960
C2	1,065	-0,314	0,955	-0,173	0,223	-0,871	0,095
C3	0,496	0,996	0,365	0,977	0,812	0,000	0,390
C4	1,779	-0,105	0,208	-1,093	0,706	0,415	0,163

Fonte: Autor.

⁽¹⁾ Médias seguidas de (*) diferenciam do controle (adubação mineral) pelo teste de Dunnett (p<0,05)

Os resultados evidenciaram interação significativa entre as proporções dos compostos adicionadas ao solo e os diferentes substratos para o espaço de aeração, sendo o vermicomposto e o CARS com efeito quadrático positivo e ponto de máxima com a proporção de 32% e 34 %,

respectivamente. Apesar de ter ocorrido um aumento no EA com o aumento das proporções dos compostos orgânicos apenas o vermicomposto alcançou a faixa adequada de aeração que segundo Ludwig (2008), está entre 20 a 40% do volume do solo (Figura 2B). O vermicomposto melhora a qualidade, estrutura e fertilidade do solo, aumentando a aeração deste, melhorando a textura e diminuindo os riscos de compactação (NOURBAKSH, 2007). Altas porcentagens de aeração podem ocasionar condições de deficiência hídrica, uma vez que dificulta a retenção de água no substrato, enquanto, aeração muito baixa pode causar falta de oxigenação para as raízes, comprometendo o desenvolvimento radicular das plantas de morangueiro (ZORZETO, 2011). Contudo, pode-se inferir que o EA obtido pelos compostos, mesmo estando próximo ou pouco abaixo de 20% pouco influenciou ou não influenciou no desenvolvimento das plantas de morangueiro, o que pode ser confirmado ao observarmos MSPA obtidos no tratamento com esterco bovino, a qual foi superior aos demais.



Fonte: Autor.

Figura 2. Equações de regressão para Porosidade total (PT) (A), espaço de aeração (EA) (B) densidade aparente (DA) (C) e capacidade de retenção de água (CRA) (D) dos substratos formulados a partir das proporções de 0, 10, 20, 30 e 40% de composto a base de água residual de suínos (CARS), esterco de bovino (EB) e vermicomposto (VC) misturadas ao solo (v/v).

A menor densidade aparente foi obtida com a adição de CARS com ponto de mínima com a adição 39% do composto, e em geral, reduziu significativamente com a adição dos compostos orgânicos (Figura 2C). De acordo com Fermino (2002), o valor de densidade aparente no intervalo de 250 a 400 kg m⁻³ é adotada como referência para substrato, quando disposto em vasos de até 15 cm de altura; logo, quanto menor o vaso, mais baixa deve ser a densidade. Altos valores de densidade podem trazer problemas para o desenvolvimento de plantas, uma vez que reduz a porosidade, contudo, valores muito baixos podem resultar em tombamento das plantas, pois estas não conseguem se fixar, comprometendo os processos rizosféricos (COSTA et al., 2017). A menor densidade aparente é dependente da presença de elementos secos, com características estruturantes, os quais aumentam a porosidade do material e conseqüentemente diminuem a densidade do substrato (LOURENÇO, 2010). O CARS possivelmente, devido sua compostagem ser feita com maravalha, possibilitou uma menor densidade, tornando-se mais adequado nessa propriedade física que os demais substratos testados, sendo adequado ao cultivo do morangueiro, uma vez que a cultura é exigente em qualidade física.

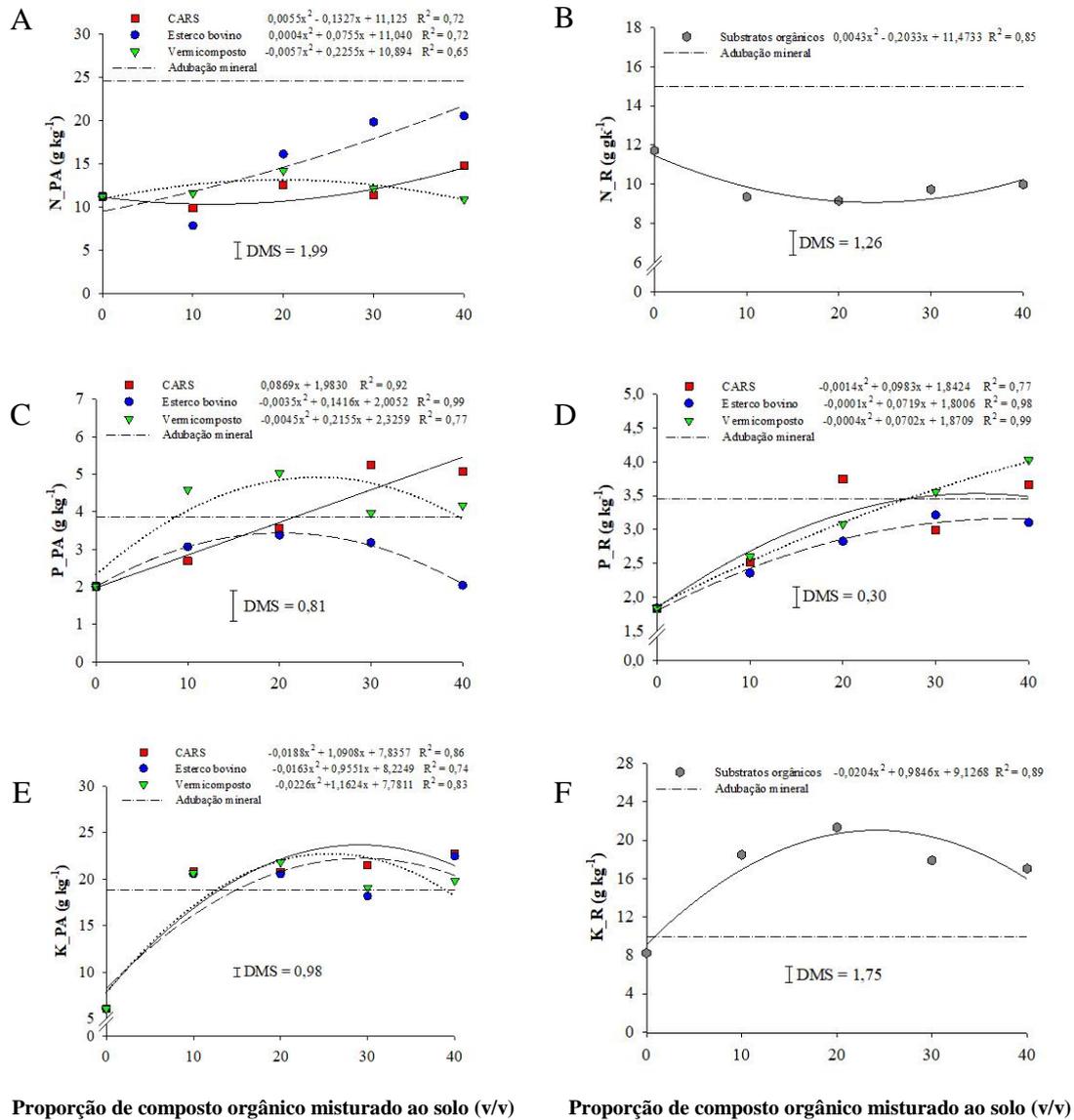
Não houve interação significativa entre as proporções e os substratos para a capacidade de retenção de água (CRA), com efeito significativo apenas para o fator substrato, sendo que a adição de esterco bovino possibilitou maior retenção de água, não diferindo do CARS, enquanto o vermicomposto apresentou a menor capacidade de retenção de água (Figura 2D). A capacidade de retenção de água pelo substrato rege a frequência de irrigação (LUDWIG, 2008). Quando ocorrer saturação do substrato pela água é necessário que o oxigênio se mantenha disponível para crescimento regular de raiz, assim quanto menor as partículas do substrato maior a capacidade de retenção de água, quando muito finas podem levar a asfixia de raízes (MARTINEZ & BARBOSA, 2001). Devido ao CARS conter partículas maiores no substrato, possibilitou maior porosidade, promovendo valores mais adequados da CRA, e bom desenvolvimento de raízes.

Os teores de nitrogênio da parte aérea das plantas de morangueiro cultivadas nos substratos orgânicos foram inferiores ao teor obtido pelas plantas na presença do adubo mineral. Contudo houve um aumento nos teores de nitrogênio nos tecidos das plantas adubadas com EB, em relação aos demais substratos, obtendo ponto de máxima absorção de nitrogênio com a proporção estimada de 94 % (Figura 3A). O teor radicular de nitrogênio não apresentou interação significativa entre as proporções e os diferentes substratos, demonstrando apenas significância do fator proporção, ocorrendo, ao contrário do que seria esperado uma diminuição nos teores de N com o aumento das proporções utilizadas, independentemente do substrato

(Figura 3B). A adição de esterco bovino ao solo pode imobilizar o N no primeiro mês após a incorporação, liberando-o progressivamente, atingindo maiores quantidades de N absorvidas pelas plantas do terceiro ao sexto mês após a incorporação (SAMPAIO; OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2007). A incorporação ao solo de vermicomposto, composto de cogumelo e esterco de fazenda, elevou significativamente o teor de N-nitrato no solo, possibilitando maior absorção de N pelas plantas (LLOYD; KLUEPFEL; GORDON, 2016). A adição de composto orgânico no solo aumenta a atividade microbiana do solo elevando os teores de N disponíveis as plantas (REGANOLD et al., 2010), resultando em maior crescimento das plantas, o que pode ser confirmado pela MSPA obtida com a adição de esterco bovino, o qual possibilitou os maiores teores de N nos tecidos foliares das plantas de morangueiro.

Os teores de fósforo na parte aérea das plantas de morangueiro foram incrementados com a adição de CARS e vermicomposto, ultrapassando a faixa de P absorvida pelas plantas com adubação mineral. O teor de P aumentou linearmente com a adição de CARS, o vermicomposto foi o segundo melhor tratamento com ponto de máximo para o teor de fósforo com adição de 24 %. O esterco bovino apresentou teores de P abaixo da adubação mineral, com ponto de máxima em 20 % (Figura 3C). O vermicomposto é uma ótima opção de composto orgânico uma vez que promove rápida disponibilização dos nutrientes (ARMOND et al., 2016). A aplicação crescente de proporções de dejetos de suíno aumenta linearmente o teor de fósforo no solo (CERETTA et al., 2005). Os compostos orgânicos, após misturados ao solo, liberam formas minerais de P devido ao processo de mineralização favorecido por suas composições químicas (GUTSER et al., 2005). Pode-se inferir assim, que a adição de CARS é uma boa alternativa aos adubos fosfatados, promovendo maior disponibilidade de P às plantas.

Os teores de P radicular evidenciaram interação significativa entre substratos e as proporções adicionadas ao solo, o vermicomposto, seguido do CARS, apresentaram os maiores teores de fósforo na raiz, com ponto de máximo teor em 88 % e 35 %, respectivamente, superando os teores de P obtidos pelas plantas do controle com adubação mineral (Figura 3D). O esterco de animais aumenta o teor, disponibilidade e movimento do fósforo no solo (ABBOT & TUCKER, 1973). A adição de dejetos de suínos líquido ou compostado, eleva o teor de P no solo, devido a isso pode ocorrer saturação dos sítios de adsorção, reduzindo a energia de ligação, consequentemente elevando os teores de P na solução do solo e assim, possibilitando às raízes das plantas absorver maior quantidade desse elemento, elevando os teores de fósforo nas raízes (BERWANGER et al., 2008; GUARDINI et al., 2012). Mesmo não superando o vermicomposto, o CARS aumentou significativamente o teor de P nas raízes sendo equivalente a adubação mineral.



Fonte: Autor.

Figura 3. Equações de regressão para os teores foliares de nitrogênio (N) (A), fósforo (P) (C) e potássio (K) (E), e teores radiculares de nitrogênio (N) (B), fósforo (P) (D) e potássio (K) (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas cultivadas em solo, com e sem inoculação de FMAs e com diferentes proporções de CARS. *A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.

Houve interação significativa entre as proporções e os substratos para os teores de potássio na parte aérea das plantas, sendo que os três substratos resultaram comportamento quadrático deste parâmetro. A adição de CARS promoveu maior teor de potássio na parte aérea das plantas, não diferindo do estercos bovino, ambos com ponto de máxima absorção na proporção de 29%, estando acima do teor obtido com a adubação mineral para as plantas de

morangueiro (Figura 3E). O esterco de fazenda aumenta o conteúdo de potássio absorvido pelas plantas, promovendo crescimento foliar e maior acumulação de açúcares, aumentando taxas fotossintéticas (ODONGO; ISUTSA; AGUYOH, 2008), e conseqüentemente a área foliar das plantas de morangueiro. O CARS pode constituir uma ótima fonte de potássio as plantas, fornecendo quantidades acima das proporcionadas pela adubação mineral.

Não houve interação significativa entre os fatores de variação para o teor de potássio radicular, diferindo apenas entre as proporções. Os substratos orgânicos promoveram um maior aporte de potássio nas raízes, com ponto de máximo teor obtido na proporção de 24 %, ultrapassando o teor de K obtido com a adubação mineral (Figura 3F). A aplicação de compostos orgânicos em morangueiro, de acordo com Cabilovski et al. (2014), afeta positivamente a concentração de K disponível no solo, resultando na maior absorção de K pelas plantas, quando comparado as plantas controle (solo). Segundo Wen et al. (1997), 100% do K contido em adubo compostado fica disponível para as plantas, o que pode explicar os maiores teores de potássio encontrados nos tecidos radiculares e foliares, com o aumento das proporções.

4. 6 CONCLUSÕES

O esterco de bovino incrementa de forma crescente a massa seca das plantas de morangueiro.

A proporção média de 49% proporciona maior altura, diâmetro de coroa e número de folhas das plantas de morangueiro, com equivalência entre os compostos orgânicos.

O composto de água residuária de suinocultura possibilita maior absorção de fósforo e potássio pelas plantas em comparação ao esterco bovino. Em geral, proporciona melhores características físicas ao solo, mas não supre totalmente a quantidade de nitrogênio disponibilizado pela adubação mineral recomendada à cultura do morangueiro.

4. 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, A. M. **A cultura do morango**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2011, 52 p. (Plantar, 68).

ABBOT, J. L.; TUCKER, T. C. Persistence of manure phosphorus in calcareous soil. **Soil Science Society of America Journal**. v. 37, n. 1, p. 60-63, 1973.

AMERI, A. et al. Effect of substrate and cultivar on growth characteristics of strawberry in soilless culture system. **American Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 56, p. 11960 – 11966, 2012.

ARANCON, N. Q. et al. Influence of vermicompost applications to strawberries: Part 1. Effects on growth and yields. **Bioresource Technology**. v. 93, n. 2, p. 145-153, 2004.

ARMOND, C. et al. Desenvolvimento inicial de plantas de abobrinha italiana cultivada com húmus de minhoca. **Horticultura brasileira**, v.34, p. 349-442, 2016.

BATISTA, M. A. V. et al. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-CE. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.

BERWANGER, A.L.; CERETTA, C.A. & RHEINHEIMER, D.S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2525- 2532, 2008.

CABILOVSKI, R. et al. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) production: impacto on soil fertility and yield. **Zemdirbyste. Agriculture**, v. 101, n. 1, p. 67-74, 2014.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p. 1296-1304, 2005.

COSTA, A. S. V. et al. Efeito de resíduo de celulose e esterco no solo sobre desenvolvimento de milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Ceres**, v. 54, n. 314, p. 339-344, 2007.

COSTA, J. C. F. et al. Caracterização física de substratos orgânicos para o enraizamento de estacas de goiabeira. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 7, n. 2, p. 16-23, 2017.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta horticulturae**, v. 26, p. 37-44, 1972.

DINIZ, K. A.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; LUZ, J. M. Q. Húmus como substrato para a produção de mudas de tomate, pimentão e alface. **Bioscience Journal**, v. 22, n. 3, p. 63-70, 2006.

EDWARDS, C. A. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: C. A. Edwards (Ed.). **Earthworm ecology**. Florida: CRC Press, 2004. Pp. 327-354.

FERMINO, M. H.; KAMPF, A. N. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 75-79, 2012.

FERMINO, M.H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: FURLANI, A.M.C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p.29-37.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 Ed. Viçosa: UFV, 2008. 421p.

GUARDINI, R. et al. Phosphorus accumulation and pollution potential in a Hapludult fertilized with pig manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1333-1342, 2012.

GUTSER, R. et al. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, n.4, p. 439–446, 2005.

HENZ, G. P. ALCÂNTARA, F. A. RESENDE, F. V. **Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Coleção 500 perguntas, 500 respostas. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 237 p.

HOLANDA, J. S. **Esterco de curral: Composição, preservação e adubação**. Natal/RN: EMPARN, 1990. 69p. (Enparn. Documento, 17).

KÄMPF, Atelene Normann. Materiais regionais como alternativa ao substrato. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS - Materiais Regionais como substrato, 6, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, SEBRAE /CE e UFC, 2008.

LLOYD, M.; KLUEPFEL, D.; GORDON, T. Evaluation of four comercial composts on strawberry plant productivity and soil characteristics in California. Intenational. **Journal of Fruit Science**. v. 16, n .1, p. 84-107, 2016.

LOURENÇO, N. M. G. **Vermicompostagem – Gestão de resíduos orgânicos: Princípios, Processos e Aplicações**. 1 ed. Lisboa: Vírgula, 2010, 404 p.

LUDWIG, Fernanda et al. Caracterização física de substratos formulados a partir de casca de pínus e terra vermelha. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS - Materiais Regionais como substrato, 6, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, SEBRAE /CE e UFC, 2008.

MANTOVANI, J. R. et al. Fertility properties and leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, 2017.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 17**, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. Disponível em:

<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17762>. Acesso em: 27 dez. 2017.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 31**, de 23 de outubro de 2008. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução 91

Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007. Disponível em:
<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19154>. Acesso em: 27 dez. 2017.

MARTINEZ, H. E.; BARBOSA, J. G. **O uso de substratos e cultivos hidropônicos**. 1 ed. Viçosa: UFV, 2001, 49 p.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2008.

MONTEIRO, G, C. et al. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface. **Enciclopédia Biosfera**. v. 8, n. 14, p. 140-148, 2012.

NOURBAKSH, F. Influence of vermicomposting on soil. **Journal of Zhejiang University Science**. v. 8, n. 10, p. 725-730, 2007.

ODONGO T.; ISUTSA, D. K.; AGUYOH, J. N. Effects of integrated nutrient sources on growth and yield of strawberry grown under tropical high altitude conditions. **African Journal of Horticulture Sciences**. v. 1, n. 1, p. 53-69, 2008.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M. Produção orgânica de alface e atributos de solo pela aplicação de composto de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 195-199, 2009.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. **Calagem e adubação do morangueiro**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, Centro de Horticultura, 2013. 16p.

PAULA, V. A. et al. Produção e distribuição de massa seca da parte aérea do morangueiro cultivado em ambiente protegido sob adubação orgânica. **Horticultura Brasileira**. v. 6, n. 2, 5931-5935, 2008.

PRÁ, M. A. D. et al. **Compostagem de dejetos líquidos de suínos**. Sete Lagoas/MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documento,45).

REGANOLD, J. P. et al. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. **Public Library of Science one**. v. 5, n. 10, p. 12346, 2010.

RODRIGUES, G. S. O. et al. Quantidade de esterco bovino no desempenho agrônomo da rúcula (*Eruca sativa* L.), cultivar Cultivada. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, p. 162-168, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; NASCIMENTO, P. R. F. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 995-1002, 2007.

SANTOS A. M.; MEDEIROS A. R. M. **Nutrição, calagem e adubação**. In. Morango Produção. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2003. p. 39-45. (Frutas do Brasil 40).

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

TEJADA, M. et al. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 9, p. 1758-1767, 2008.

TRANI, P.E. et al. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 290-294, 2004.

VITTI, M. R. **Impacto do vermicomposto bovino em atributos biológicos do solo e características físicas e químicas das frutas em pomar de pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch)**. 2006. 169 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

WEN, G. et al. Potassium availability with application of sewage sludge, and sludge and manure compost in field experiments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, n. 3, p. 233–241, 1997.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. 146p.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A. Rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YOUNAS, M.; ALI, R. Influence of organic manuring on growth and yield of strawberry Cv. Chandler. **Asian Journal of Agriculture and Biology**, v. 2, n. 3, p. 169-171, 2014.

ZORZETO, T.Q. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.)**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Campinas, 2011. 110f.

ZORZETO, T.Q.; DECHEN, S.C.F.; ABREU, M.F. et al. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 300-311, 2014.

5 CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO CULTIVADAS EM DIFERENTES PROPORÇÕES DE CARS E INOCULADAS COM FMAS

5.1 RESUMO - O morangueiro é exigente em termos de condições nutricionais do solo. O composto orgânico oriundo de água residuária de suinocultura (CARS), constitui uma forma alternativa de material orgânico com elevado aporte nutricional. Combinado a isso, a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) possibilita otimizar a absorção desses nutrientes pelas plantas. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes espécies de FMAs e da aplicação CARS no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (4 x 5) + 1, sendo quatro inoculações (sem inoculação (controle), inoculação de *Acaulospora colombiana*, *Acaulospora morrowiae* e *Claroideoglossum etunicatum*), cinco proporções de CARS (0, 10, 20, 30 e 40%), e mais a adubação mineral, com 6 repetições. Avaliou-se a altura, diâmetro de coroa, número de folíolos, área foliar, massa seca da parte aérea, radicular e de coroa, porcentagem de colonização, teor de NPK na parte aérea e radicular, teor de carotenoides totais e clorofila total foliar, eficiência fotoquímica máxima do PSII, taxa de transporte de elétrons (ETR₁₅₀₀) e rendimento quântico efetivo do PSII (YII). A adição de CARS proporciona maior desenvolvimento das plantas de morangueiro da cultivar Aromas, mas inibe o efeito nutricional dos fungos micorrízicos arbusculares. O *isolado Acaulospora morrowiae* e sua utilização com 40% de CARS resulta em equivalência à adubação mineral para a maioria dos parâmetros fenológicos do morangueiro. A adição de CARS e a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares incrementam os teores de fósforo nos tecidos das plantas, promovendo melhora nos componentes fotossintéticos das mesmas.

Palavras-chave: *Acaulospora colombiana*. *Acaulospora morrowiae*. *Claroideoglossum etunicatum*. *Fragaria x ananassa*. Composto orgânico.

5.2 ABSTRACT - The strawberry is demanding in terms of soil nutritional conditions. The organic compound derived from swine wastewater (CARS) is an alternative form of organic material with high nutritional content. In combination with this, the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) makes it possible to optimize the absorption of these nutrients by plants. The objective of this work was to evaluate the effect of different AMF species and the application of CARS in the development of neutral day strawberry plants. The experimental design was completely randomized, in a factorial arrangement (4 x 5) + 1, four inoculations (no inoculation, inoculation of *Acaulospora colombiana*, *Acaulospora morrowiae* e *Claroideoglossum etunicatum*), five proportions of CARS (0, 10, 20, 30 and 40 %), and mineral fertilization, with 6 replicates. The leaf height, crown diameter, number of leaflets, leaf area, dry mass of aerial part, root and crown, percentage of colonization, NPK content in shoot and root, total carotenoid content and total leaf chlorophyll, Maximum PSII efficiency, electron transport rate (ETR₁₅₀₀) and effective quantum yield of PSII (YII). The addition of CARS provides greater development of the strawberry plants of the Aromas cultivar, but inhibits the nutritional effect of arbuscular mycorrhizal fungi. The *Acaulospora morrowiae* isolate and its use with 40% CARS results in equivalence to mineral fertilization for most phenological parameters of the strawberry. The addition of CARS and inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi increase the phosphorus content in the plant tissues, promoting an improvement in the photosynthetic components of the plants.

Keywords: *Acaulospora colombiana*. *Acaulospora morrowiae*. *Claroideoglopus etunicatum*. *Fragaria x ananassa*. Organic compoud.

5. 3 INTRODUÇÃO

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchene) é uma planta herbácea pertencente à família das Rosaceae (FILGUEIRA, 2008). Possui importância nacional, com produção estimada em 105 mil toneladas (REISSER JÚNIOR et al., 2015). A adubação com compostos orgânicos em morangueiro aumenta a ação microbiana do solo, disponibilizando maior quantidade de nutrientes (SANTOS, 2008). a adubação orgânica é a base fundamental para produtividade da cultura do morangueiro (SANTOS & MEDEIROS, 2003), em razão de que o grupo das hortaliças ao qual o morangueiro pertence reage muito bem a este tipo de adubação, tanto em produtividade como em qualidade dos produtos oriundos (FILGUEIRA, 2008).

O morangueiro é uma cultura exigente em termos de condições nutricionais e físicas do solo (ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011). Assim o emprego de compostos orgânicos para o cultivo do morangueiro torna-se um determinante no sucesso da cultura (SANTOS & MEDEIROS, 2003). Contudo, apesar de já serem utilizados pelos agricultores, ainda há controvérsias sobre a quantidade correta para suprir as necessidades da cultura e promover um bom desenvolvimento das plantas de morangueiro, uma vez que seu excesso pode causar danos irreversíveis a produção (MELO, SILVA & DIAS, 2008; PAULA et al., 2008). O uso de composto orgânico na cultura é também uma alternativa aos insumos químicos, devido à busca de uma produção com menor quantidade de resíduos desses produtos nos frutos e no solo, assim como uma opção à utilização de fontes de nutrientes não renováveis, como é o caso do P, nutriente de suma importância na produtividade da cultura (CAMARGO et al., 2012; ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011).

O composto orgânico oriundo de água residuária de suinocultura (CARS), constitui uma forma alternativa de material orgânico com elevado aporte nutricional (VIDIGAL et al., 2010), ainda pouco difundido na agricultura e sem relatos científicos para a cultura do morango. O CARS é produzido a partir da mistura de água residuária de suinocultura com maravalha, passando por processo de fermentação dos dejetos, e conseqüente maturação do material, possibilitando a eliminação de microrganismos patogênicos (PRÁ et al., 2005), podendo então ser utilizado como componente de substrato, ou misturado ao solo. Monteiro et al. (2012), ao utilizarem CARS como substrato para o cultivo de alface, obtiveram aumento significativo no desenvolvimento das mudas. Parizotto & Padolfo (2009) observaram um aumento linear na

massa seca de plantas de alface com o aumento nas proporções de composto à base de dejetos líquido de suínos adicionadas ao solo, sendo que o mesmo elevou os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo. A caracterização das proporções de CARS demonstra um incremento no aporte de nutrientes disponíveis e de matéria orgânica, constituindo um condicionador de solo para o desenvolvimento de plantas de morangueiro.

Como forma de potencializar a adubação orgânica, alguns estudos foram realizados em culturas agrícolas combinando o uso de compostos orgânicos com a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) de forma a otimizar a absorção de nutrientes pelas plantas (GOMES JÚNIOR et al., 2011; RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007), principalmente aqueles de baixa mobilidade no solo, como o P. As hifas de FMAs podem prolongar o sistema radicular das plantas em até 7,5 metros por dia, possibilitando um aumento na área de exploração de nutrientes pelas raízes das plantas (GIOVANNETTI et al., 2001). Os FMAs podem constituir uma alternativa de redução na necessidade de aplicação de insumos químicos ao mesmo tempo que incrementa a produção das culturas (GOMES JÚNIOR et al., 2011).

Os FMAs são organismos biotróficos, responsáveis por se associarem as raízes de um grande número de espécies, estabelecendo uma relação simbiótica mutualística (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Além disso, vários estudos demonstraram efeitos positivos da inoculação de FMAs em morangueiro (BORKOWSKA, 2002; CASTELLANOS-MORALES et al., 2010; FAN et al., 2011; STEWART et al., 2005).

Tendo em vista que o P, um dos principais nutrientes na composição dos fertilizantes e oriundo de recurso não renovável, é de extrema essencialidade as plantas. Torna-se necessário o desenvolvimento de trabalhos que busquem alternativas aos fertilizantes minerais, possibilitando maior crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes espécies de FMAs e da aplicação de composto de água residuária de suinocultura no desenvolvimento de plantas de morangueiro de dia neutro.

5. 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, pertencente ao departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen – RS. A condução do experimento foi realizada em sistemas de vasos suspensos em bancadas.

As mudas de morangueiro utilizadas foram oriundas de cultura *in vitro*, provenientes do laboratório de Biotecnologia da Universidade de Passo Fundo – RS, totalmente isentas de

patógenos. Trabalhou-se com a cultivar de dia neutro Aromas. As mudas passaram por uma etapa de aclimação, por 30 dias, em substrato inerte (areia) autoclavado, dispostas em bandejas de 72 células. Foi realizada aplicação de solução nutritiva, formulada de acordo com a recomendação para cultura (SBCS, 2016), sendo aplicado 1 ml três vezes por semana. As irrigações, utilizando água destilada, foram realizadas diariamente, 10 ml/dia, com o auxílio de uma pipeta automática. Após a aclimação, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 1 litro, preenchidos com a mistura de solo e composto, dispostos em bancadas de 1,20 m de altura, em espaçamento de 0,20 m x 0,20 m. Cada unidade experimental (UE) foi constituída de uma planta por vaso,

Para a inoculação das plantas foi utilizado material biológico de três fungos micorrízicos arbusculares (*Acaulospora colombiana*, *Acaulospora morrowiae* e *Claroideoglossum etunicatum*) provenientes da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG), pertencente ao laboratório de Micorrizas da Universidade Regional de Blumenau – SC. Os isolados foram inoculados no momento do transplante, sendo utilizado 30 esporos por UE.

O solo utilizado foi um Nitossolo vermelho, coletado em uma área agrícola na camada de 0 – 20 cm. O composto orgânico utilizado, CARS, foi produzido á base de água residuária de suinocultura (CARS), compostado com maravalha em um sistema de compostagem com aerador helicoidal por um período de seis meses, oriundo de uma unidade de criação de suínos no município de Rodeio bonito, região do Alto Uruguai – RS. A unidade de criação perfaz um sistema de ciclo completo abrangendo desde a fase de leitão até a terminação, num total de 9.800 cabeças. Para quantificação e caracterização química dos nutrientes disponíveis no solo e substrato (Tabela 1), foram extraídos por solução de Mehlich-1 o P e K e quantificados por espectrofotometria e por fotometria de chamas, respectivamente; o Ca e Mg foram extraídos por solução de KCl e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (SILVA, 2009), e a MO extraída pela oxidação do carbono por solução de dicromato de sódio e ácido sulfúrico e quantificada por colorimetria (YEOMANS & BREMNER, 1988).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (4 x 5) +1, sendo quatro inoculações (três isolados mais o controle sem inoculação), cinco proporções de CARS (0, 10, 20, 30 e 40%), mais a adubação mineral, com 6 repetições. Na adubação mineral o solo foi corrigido antes do transplante com os nutrientes N, P e K e feita a manutenção com N e K de acordo com a recomendação de Passos & Trani (2013), para cada fase da cultura do morangueiro. A irrigação foi realizada diariamente, com auxílio de um Becker graduado com o intuito de manter em aproximadamente 80% da capacidade de campo.

Tabela 1. Caracterização química das proporções do composto de água residuária de suinocultura (CARS) incorporado ao solo para o desenvolvimento de plantas de morangueiro da cultivar aromas.

CARS (%)	pH _{água} (1:1)	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	MO
		- mg kg ⁻¹ -		----- mg kg ⁻¹ -----				
0*	5,9	470	86,3	2,98	55,2	1,26	4,91	1,32
10	6,23	2216	470,2	71,45	369,6	11,93	68,31	2,74
20	6,33	2378	575,9	91,32	594,0	13,18	151,80	3,59
30	6,43	2358	597,8	121,71	580,8	13,14	160,38	4,13
40	6,48	2898	806,8	315,53	1056,0	13,57	414,75	7,37

Fonte: Autor.

* 0 (zero) = solo

Completados 120 dias as plantas foram coletadas para avaliação fenológica, fisiológica e de micorrização. Quantificou-se a altura de planta, com o auxílio de uma régua graduada, medida do início da coroa até o trifólio de maior altura; volume de raiz, obtido pelo deslocamento de água em proveta, quantificados em cm³; massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR), por meio de pesagem em balança analítica; número de folíolos (NF); área foliar, quantificada a partir da disposição de todos os folíolos de cada UE em um medidor de área foliar portátil (modelo AM350, ®Marconi); diâmetro de coroa (DC), utilizando-se um paquímetro digital; e massa seca de coroa (MSC), separando-se a coroa da parte aérea e pesado em balança analítica.

A partir da obtenção da matéria seca, foram extraídos os teores de N, P e K absorvidos na parte aérea e radicular, através do processo de digestão com ácido sulfúrico e quantificação dos teores por destilação e titulação (N), espectrofotometria (P) e fotometria de chamas (K), conforme Silva (2009).

A porcentagem de colonização micorrízica (CM) foi estimada a partir da coloração de raízes, com azul de Tripán (PHILLIPS & HAYMAN, 1970). Após a coloração, foi avaliada a porcentagem de colonização sendo dispostos 10 fragmentos de raízes, com aproximadamente 1 cm em lâminas e analisadas em microscópio óptico (40x), realizado em triplicata para cada uma das repetições dos tratamentos (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980). Para o cálculo da porcentagem de colonização, foi contabilizado o número de fragmentos colonizados, através da presença fúngica (“Positivo”) ou ausência (“Negativo”), e aplicada a fórmula:

$$PC (\%) = \frac{\text{n}^\circ \text{ total de raízes colonizadas}}{\text{n}^\circ \text{ total de raízes}} \times 100$$

Os parâmetros fisiológicos quantificados foram os de fluorescência da clorofila: eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m), taxa transporte de elétrons (ETR_{1500}), rendimento quântico efetivo do PSII (Y_{II}), clorofila (Chl total) e carotenoides totais. A quantificação da fluorescência da clorofila foi realizada a partir de um trifólio, visivelmente sadio e totalmente expandido, após completados os 120 dias, utilizando para isso, um fluorômetro modulado modelo Junior Pam (®Walz, Alemanha), entre o período das 6 às 8 horas da manhã. A medição da fluorescência inicial (F_o) e da fluorescência máxima (F_m) aconteceu antes e depois das folhas receberem um pulso de luz saturante de $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. A fluorescência variável foi calculada com base no incremento obtido da fluorescência inicial até a fluorescência máxima ($F_m - F_o$).

A razão da fluorescência variável sobre a máxima resultou nos teores de eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) (LICHTENTHALER, 1987). Através das curvas de luz (taxa de transporte de elétrons contra a radiação fotossinteticamente ativa) foi quantificada a taxa de transporte de elétrons (ETR_{1500}). As curvas de luz foram medidas expondo cada repetição a nove níveis de radiação (0, 125, 190, 285, 420, 625, 820, 1150 e 1500 elétrons $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), durante um período de 10 segundos.

Os teores de carotenoides totais e clorofila a (Chl a) e b (Chl b), foram determinados a partir do mesmo trifólio utilizado para analisar a fluorescência, do qual extraíram-se 4 discos foliares que foram armazenados em microtubos do tipo Ependorff sem presença de luz, e acondicionados em freezer a -4°C até o processamento das análises. No momento da análise, cada amostra foi triturada em almofariz e homogeneizada em 5 mL de acetona 80% (v/v), sendo imediatamente vertida em tubo de 15 mL e centrifugadas a 4000 rpm durante 3 minutos. O sobrenadante foi coletado e posteriormente realizada a leitura das absorbâncias a 480, 645 e 663 nm, utilizando um espectrofotômetro UV-VIS, e as concentrações calculadas de acordo com Hendry & Price (1993).

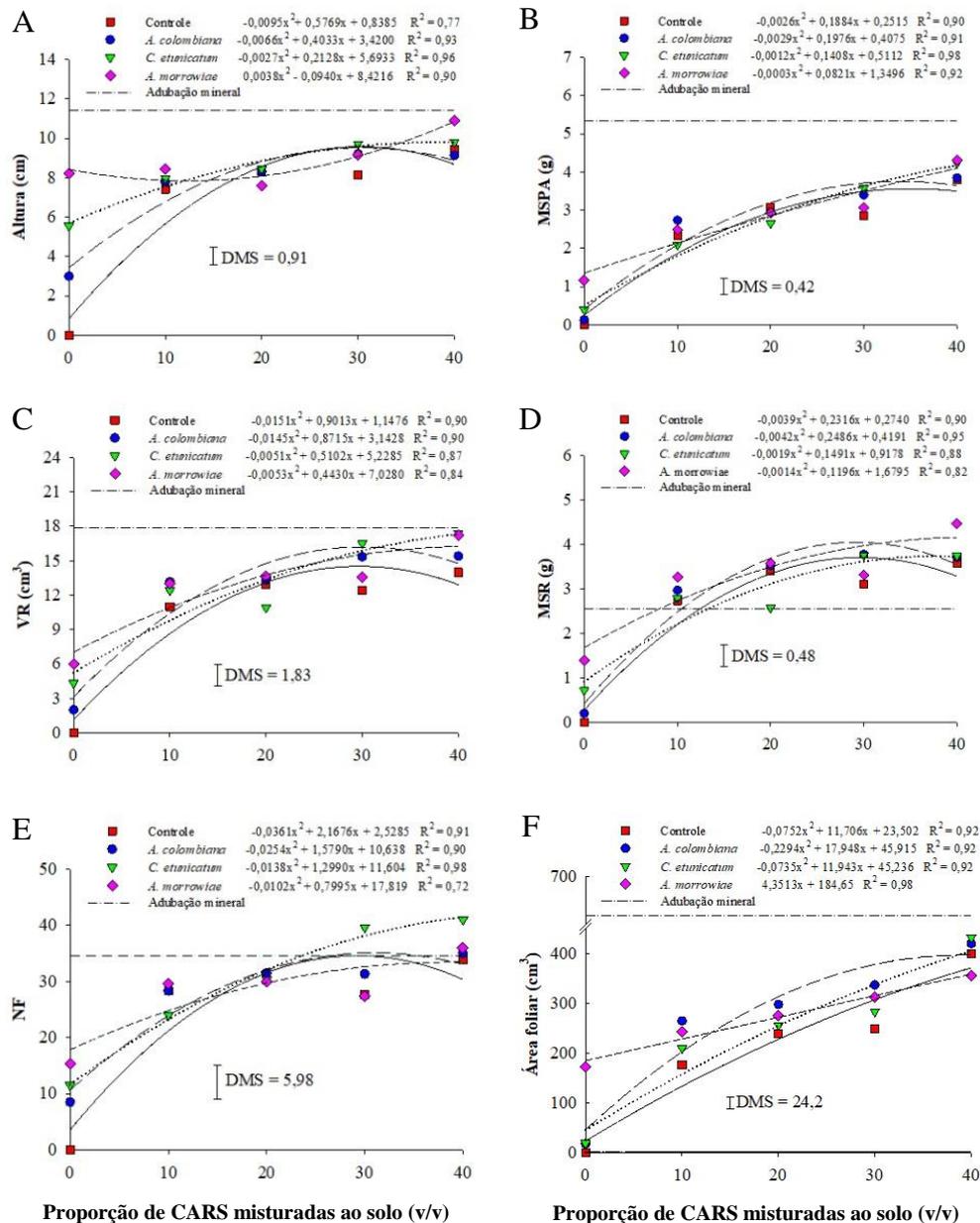
Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando apresentaram interação significativa, desdobraram-se os efeitos do fator qualitativo (inoculação) dentro de cada nível do fator quantitativo (proporção de CARS). As médias do fator qualitativo foram comparadas pelo teste de Tukey e as do fator quantitativo pela análise de regressão e, quando não significativa a interação analisou-se os efeitos simples de cada fator de variação, sendo o qualitativo pelo teste de Tukey e o quantitativo pela análise de regressão, utilizando-se para isto o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), tomando como base os níveis de significância maiores que 95% ($p \leq 0,05$). Para as variáveis com comportamento quadrático

calculou-se o ponto de máxima e mínima resposta às proporções do composto para cada inoculação.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores de variação inoculação e proporções de CARS para os parâmetros altura, VR, MSPA, MSR, NF e área foliar. Na presença de composto orgânico, as plantas de morangueiro micorrizadas apresentaram melhor desenvolvimento em relação as plantas controle (sem inoculação) (Figura 1A, B, C, D e E). As plantas de morangueiro na proporção zero de CARS, e com ausência de micorrização não se desenvolveram devido ao solo muito pobre em fósforo (Tabela 1), levando a morte das mesmas.

A altura de planta apresentou comportamento quadrático crescente com o aumento das proporções de CARS adicionadas ao solo, com decréscimo a partir da proporção de 30% para as inoculações com *A. colombiana* e o controle (sem inoculação), e 39% para *C. etunicatum*. A inoculação com *A. morrowiae* proporcionou tendência quadrática, apresentando maior altura de plantas com o aumento das proporções, diferindo das demais inoculações (Figura 1A), se equivalendo a altura obtida com adubação mineral. A inoculação de plantas de tomateiro com *Glomus fasciculatum* e aplicação de biofertilizante aumentou em 20% a altura das plantas, quando comparado a testemunha (ALFONSO & GALÁN, 2006). Plantas de cebola (*Allium cepa*), inoculadas com *Glomus fasciculatum* apresentaram maior altura de planta com adição de húmus de minhoca e esterco de aves ao solo, em relação aos tratamentos contendo apenas FMAS, o controle (solo) e aos tratamentos contendo apenas o composto orgânico (RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007). Plântulas de *Dendrocalamus asper* (Schult.) inoculadas com FMAs e com adição de 20% de esterco de búfalo (v/v) a uma mistura de solo e areia apresentaram maior altura de planta, 39,1% superior àquelas das plantas controle (areia/solo) (VERMA & ARYA, 1998). O maior aporte nutricional pode diminuir a taxa de simbiose nas plantas, contudo ainda é possível observar que algumas espécies, como *A. morrowiae* neste estudo, apresenta maior efeito sobre as plantas quando combinados a matéria orgânica. Esse efeito pode ser atribuído aos resultados positivos que a incorporação da matéria orgânica tem sobre as propriedades do solo somados ao efeito positivo dos FMAs na absorção de nutrientes, ao quais se manifestam em maior crescimento da planta (RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007).



Fonte: Autor.

Figura 1. Equações de regressão dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para altura de planta (A), massa seca da parte aérea (MSPA) (B), volume de raiz (VR) (C), massa seca radicular (MSR) (D), número de folíolos (NF) (E) e área foliar (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. *A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.

Em todos os tratamentos ocorreu um incremento de MSPA com o aumento da proporção de CARS, sendo maior apenas na proporção zero com a inoculação do isolado *A. morrowiae* (Figura 1B), não alcançando os valores obtidos com a adubação mineral. Verma & Arya (1998), trabalhando com plântulas de *Dendrocalamus asper* (Schult.), obtiveram aumento significativo

da biomassa seca das plantas com a adição de esterco de búfalo e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. A inoculação de *Gigaspora margarita* em mudas de cafeeiro combinadas ao uso de esterco no solo, proporcionou incremento significativo nos teores de massa seca da parte aérea as mudas (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006). Esses resultados comprovam a eficiência do composto orgânico em estimular o desenvolvimento de plantas de morangueiro, contudo é possível que os nutrientes disponíveis no composto tenham mascarado o efeito dos FMAs.

Para VR e MSR houve incremento com tendência quadrática de acordo com o aumento na proporção de CARS. O VR não diferiu entre as inoculações com *A. morrowiae*, *C. etunicatum* e *A. colombiana*, diferindo apenas do controle, com tendência quadrática crescente para os isolados *A. morrowiae* e *C. etunicatum*, com ponto de máxima nas proporções de 42 e 50%, respectivamente (Figura 1C). O maior valor de MSR foi obtido com a inoculação de *A. morrowiae* (2,30 g), diferindo das demais inoculações, com ponto de máximo incremento na proporção de 42,5% (Figura 1D). A associação micorrízica em plantas de tomateiro cereja promovida pela inoculação de *Glomus fasciculatum*, e aplicação de biofertilizante produzido a partir de material humificado sólido promoveu aumento significativo de 38% na matéria seca de raiz das plantas (GOMES JÚNIOR et al., 2011). Plantas de morangueiro submetidas a diferentes adubações e inoculação de um produto comercial a base de FMAs obtiveram maior peso seco de raízes quando adubadas com esterco bovino sem inoculação, seguido das plantas micorrizadas, sendo que o menor incremento de MSR foi obtida na adubação com NPK mineral (SAS PASTZ et al., 2011). Plantas de tomateiro cereja inoculadas com *Glomus mosseae*, apresentaram 42% mais matéria seca de raiz, quando comparadas com plantas não micorrizadas (AL KARAKI, 2006), demonstrando os benefícios dos FMAs em promover uma extensão das raízes e assim maior exploração de nutrientes no solo.

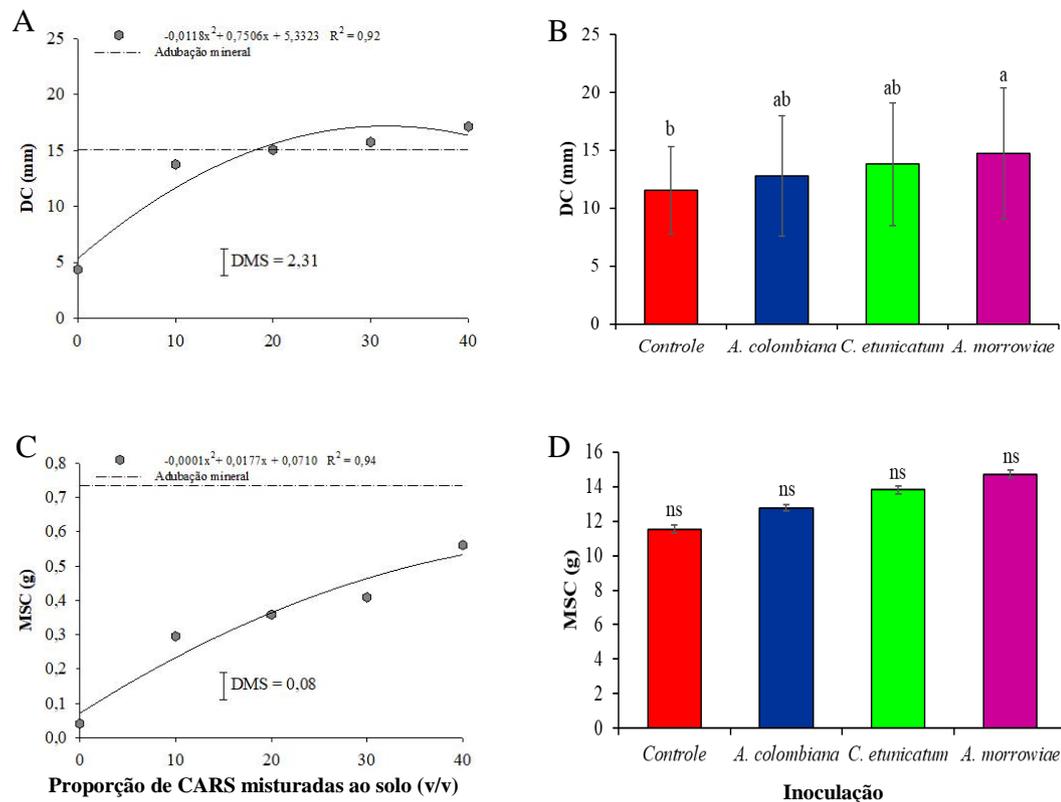
O número de folíolos (NF) apresentou comportamento quadrático crescente para as inoculações com o aumento nas proporções de CARS, com exceção do controle (sem inoculação), o qual apresentou decréscimo a partir da proporção de 30%, não diferindo das demais inoculações (Figura 1E). Rodriguez & Ortuño (2007), obtiveram maior número de folhas em plantas de cebola micorrizadas, não diferindo dos tratamentos micorriza + composto orgânico e apenas composto orgânico, quando comparadas ao controle. Logo, pode-se afirmar, que mesmo não ocorrendo diferença significativa, a combinação de adubação orgânica com FMAs pode contribuir positivamente para o desenvolvimento das plantas de morangueiro.

As regressões da área foliar das plantas de morangueiro demonstraram comportamento quadrático para a maioria das inoculações com exceção de *A. morrowiae*, a qual foi linear,

ocorrendo incremento na área foliar das plantas de morangueiro com o aumento gradativo das proporções de CARS. A maior área de folhas foi obtida com a inoculação de *C. etunicatum* (432 cm²), com ponto de máximo incremento de área foliar na proporção de 81% de CARS, não diferindo estatisticamente da inoculação com *A. colombiana* que apresentou ponto de máxima com adição de 39% de CARS, porém não superou a área foliar obtida com a adubação mineral. O controle representou o pior tratamento em relação aos demais com presença de FMAs, com ponto de máxima com a proporção de 78% (Figura 1F). Nas maiores proporções pode-se inferir que a adição do material orgânico, mesmo que incrementando a área foliar das plantas pode causar redução no efeito do FMA, pois compromete, em parte, a simbiose, uma vez que o aporte nutricional é alto (TRINDADE; SAGGIN JÚNIOR; SILVEIRA, 2010). Contudo, os fungos micorrízicos podem auxiliar significativamente no desenvolvimento das plantas, potencializando o efeito do composto orgânico. Bojórquez et al. (2010) salientam que além do aporte nutricional disponibilizado pelos produtos oriundos de material orgânico aplicados na agricultura, o uso de fungos micorrízicos tem grande importância no desenvolvimento das plantas.

Não houve interação significativa entre as inoculações e proporção de CARS para o diâmetro de coroa (DC). O fator proporção de CARS demonstrou comportamento quadrático, onde o diâmetro de coroa alcançou valores equivalentes ao proporcionado pela adubação mineral com adições acima de 20% do CARS, com ponto de máxima DC em 31,8% (Figura 2A). Mudanças de gravioleira (*Annona muricata* L. 'Morada') ao serem inoculadas com FMA e cultivadas em substrato contendo 10% de vermicomposto, sofreram um estímulo de crescimento e desenvolvimento, aumentando significativamente o diâmetro do caule das plantas, quando comparadas às plantas sem adição do composto orgânico (SILVA et al., 2008). A presença dos compostos orgânicos possibilita maior assimilação de nutrientes, promovendo aumento no crescimento e desenvolvimento das plantas.

O desmembramento do fator inoculação, demonstrou que as plantas inoculadas com *A. morrowiae* apresentaram maior diâmetro de coroa, diferindo estatisticamente apenas das plantas controle (sem inoculação) (Figura 2B). Nunes et al. (2009), obtiveram incremento do diâmetro do caule em plantas de pessegueiro "Aldrighi" inoculadas com FMAs. Plantas de maracujazeiro inoculadas com *Gigaspora albida* apresentaram incremento na altura e diâmetro do caule em relação as plantas controle (sem inoculação) (CAVALCANTE et al., 2002). Podemos inferir assim que os FMAs auxiliam positivamente no crescimento das plantas.



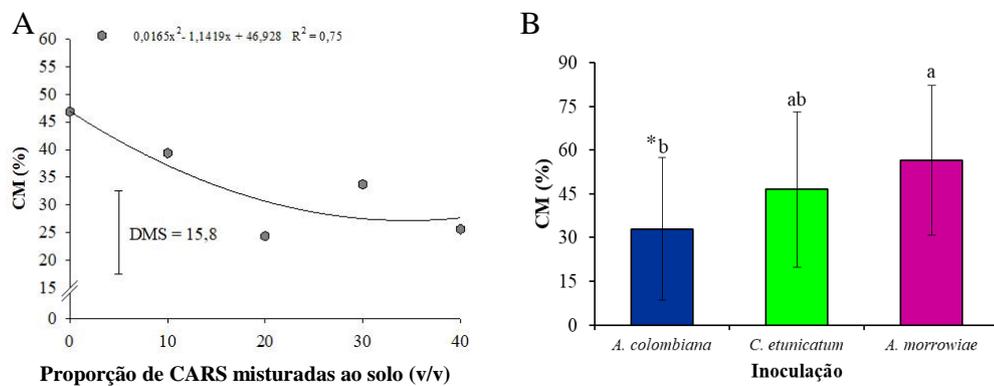
Fonte: Autor.

Figura 2. Desmembramento dos efeitos simples significativos dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para diâmetro de coroa (DC) (A e B) e massa de coroa (MSC) (C e D) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. * Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$). **A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.

Não houve interação para os fatores inoculação e proporções de CARS para a massa seca da coroa das plantas (MSC). A regressão do fator simples proporção, apresentou comportamento quadrático crescente para os valores de MSC com o aumento das proporções de CARS adicionada ao solo, com ponto de máximo incremento na proporção de 88,5%; contudo, permaneceu abaixo da faixa de MSC obtido com a adubação mineral (Figura 2C). Gomes Júnior et al. (2011), trabalhando com aplicação de biofertilizante e FMAS em mudas de tomateiro, obtiveram aumento do diâmetro do caule das mudas apenas com fator biofertilizante, não ocorrendo efeito positivo da inoculação, uma vez que estas não diferiram das plantas controle (sem inoculação e com adição de biofertilizante), demonstrando efeito positivo do maior aporte nutricional do composto orgânico combinado na promoção do crescimento das plantas.

Não houve diferença estatística significativa para o fator inoculação para a MSC (Figura 2D), entretanto, podemos perceber que as plantas inoculadas apresentaram valores mais elevados em relação as plantas controle (sem inoculação). Plantas de cebola (*Allium cepa*) inoculadas com *Glomus fasciculatum* apresentaram maior diâmetro de talo em relação às plantas não inoculadas (RODRIGUEZ & ORTUÑO, 2007), demonstrando que os FMAs podem ser benéficos ao crescimento das plantas.

Não houve interação significativa entre as inoculações e as proporções de CARS para porcentagem de colonização micorrízica. Ao desmembrar os efeitos simples, evidenciou-se que a CM foi reduzida com a adição das proporções de CARS, com ponto de mínima colonização na proporção de 34% do composto (Figura 3A). O isolado *A. morrowiae* proporcionou a maior porcentagem de colonização micorrízica (56%), não diferindo de *C. etunicatum*, (Figura 3B). A compatibilidade funcional dos FMAs e os níveis de fósforo na solução do solo interferem diretamente na eficiência de associação, regulando parâmetros cinéticos de absorção de P para as plantas (SENA et al., 2014). Nesse caso, é possível que o aumento dos teores de P oriundo da adição das proporções de CARS (Tabela 1) tenha reduzido a porcentagem de colonização dos isolados.

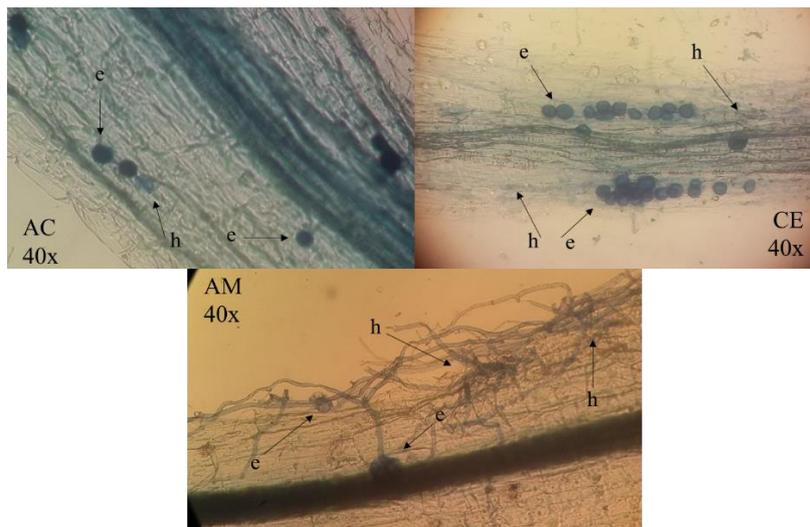


Fonte: Autor.

Figura 3. Desmembramento dos efeitos simples significativos dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para porcentagem de colonização micorrízica (CM) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. * Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

A inoculação de *Acaulospora colombiana*, *Claroideoglossum etunicatum* e *Acaulospora morrowiae* promoveu extensa produção de hifas nas raízes de morangueiro (Figura 4), apesar da porcentagem de colonização ter reduzido com adição de CARS. O morangueiro constitui o

grupo de espécies facilmente micorrizadas, devido ao seu alto potencial micotrófico (GARLAND et al., 2011; VESTBERG et al., 2000). Com isto, possibilita a colonização pelos FMAs, responsáveis por promover inúmeros benefícios às plantas de morangueiro, uma vez que suas hifas podem estender amplamente o perímetro de absorção de nutrientes pelas raízes (SMITH & READ, 2008; MARTINEZ, 2012; VOS et al., 2012), promovendo assim maior crescimento e desenvolvimento das plantas de morangueiro.



Fonte: Autor.

Figura 4. Colonização micorrízica, presença de estruturas fúngicas, hifas (h) e esporo (e), nas raízes de morangueiro da cultivar Aromas, com aumento de 40x, ao final de 120 dias. Isolados: *Acaulospora colombiana* (AC), *Claroideoglomus etunicatum* (CE) e *Acaulospora morrowiae* (AM).

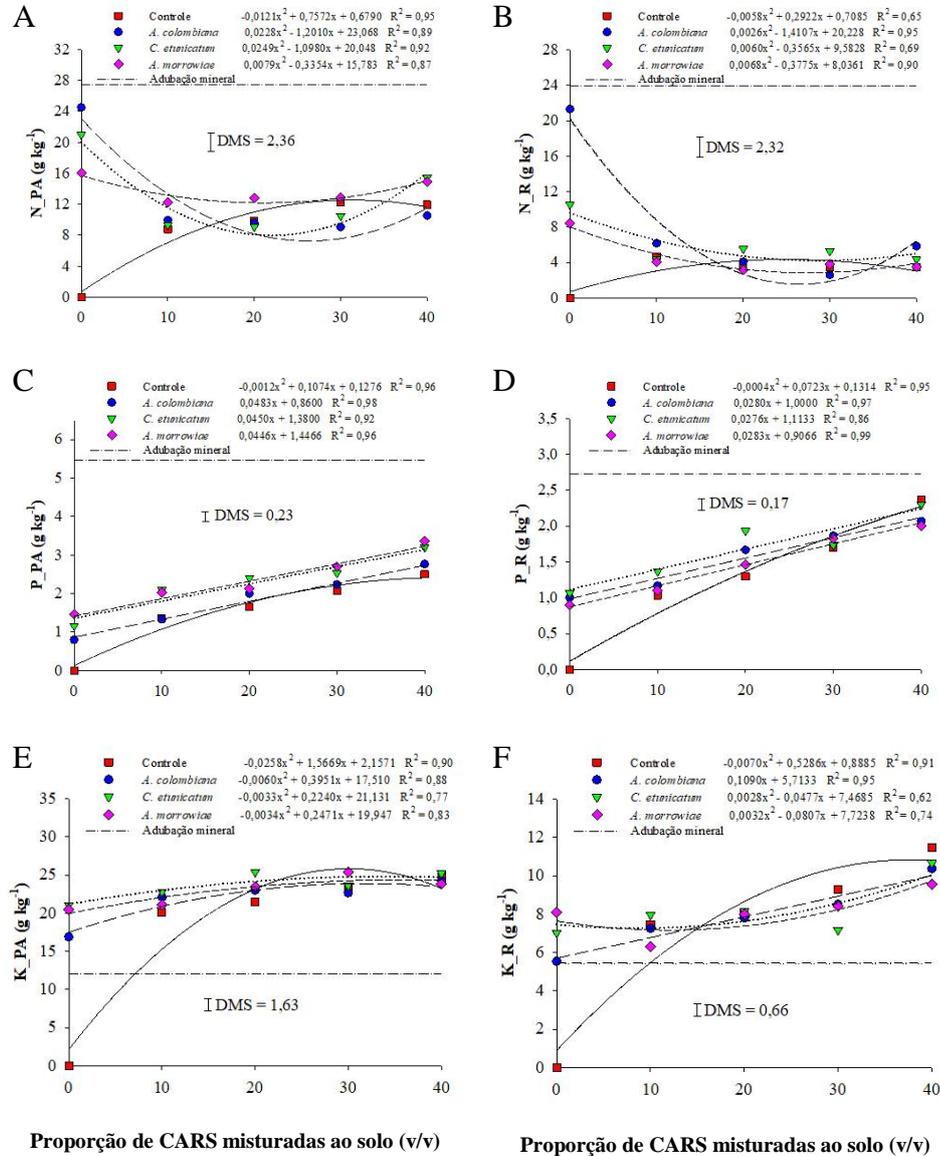
A absorção de nutrientes pelas plantas foi inferior a faixa de absorção promovida pela adubação mineral para N e P. Ao contrário, o K apresentou valores mais elevados à esta faixa de absorção (Figura 5). O impacto benéfico do composto orgânico combinado a inoculação dos FMAs sobre o crescimento das plantas de morangueiro pode ser oriundo da mobilização de um maior aporte de nutrientes provenientes da adição da matéria orgânica (HODGE; CAMPBELL; FITTER, 2001; RAVNSKOV et al., 2006), através do CARS, como pode ser percebido nos teores de P e K.

Os teores de nitrogênio foliar e radicular demonstraram comportamento quadrático, com diminuição nos teores de nitrogênio nas plantas inoculadas com adição de CARS, já para o controle houve incremento, com decréscimo a partir da proporção de 31% para a parte aérea e 25 % para a radicular. Na proporção zero de composto as plantas inoculadas foram superiores

ao controle, sendo a inoculação com *A. colombiana* foi aquela a apresentar valores mais elevados de N nos tecidos foliar e radicular das plantas, diferindo dos demais tratamentos (Figura 5A e 5B). Ainda há controvérsias sobre o teor de nitrogênio nos tecidos vegetais de plantas micorrizadas, uma vez que algumas plantas micorrizadas só elevam os teores de N quando estes estão disponíveis na forma inorgânica (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). A adição de composto orgânico eleva a atividade microbiana e conseqüentemente a taxa de mineralização e o teor de nitrogênio (FIGUEIREDO et al., 2012). Contudo, a diminuição no teor de N nas plantas micorrizadas, pode ser resultado da competição por NH_4^+ entre FMAs, raízes das plantas e os microrganismos imobilizadores de nitrogênio, o que acarreta em diminuição das taxas de N inorgânico do solo, e assim menor assimilação deste pelas plantas e FMAs (JOHANSEN; JAKOBSEN; JENSEN, 1992). Com isso pode se inferir que adição de CARS pode ter possibilitado uma maior competição entre os organismos diminuindo o teor de N no tecido das plantas. Já na ausência de CARS (0%), devido a menor atividade microbiana promovida antes pela adição do composto, possibilitou aos FMAs demonstrarem efeito positivo sobre a absorção de nutrientes, aumentando os teores de N, um dos componentes de maior importância no metabolismo das plantas, uma vez que este está diretamente ligado a produção de compostos celulares, como a clorofila (LIMA et al., 2001), o que pode ser confirmado pelo teor de clorofila total obtido nas plantas inoculadas sem adição de CARS.

Para o fósforo, foi observado uma tendência de crescimento linear no teor do nutriente na parte aérea e na raiz, com o aumento na adição de CARS para as plantas inoculadas, com exceção do controle (sem inoculação) que demonstrou comportamento quadrático, com máximo teor de fósforo com adição de 44% de CARS para parte aérea e 90% para parte radicular (Figura 5C e 5D). O aumento no teor de fósforo é proveniente da maior disponibilidade do nutriente com as proporções de CARS, porém, na parte aérea é possível observar que os tratamentos inoculados beneficiaram positivamente os teores do nutriente em relação ao controle (sem inoculação). A inoculação de FMAs em plântulas de *Dendrocalamus asper* (Schult.) combinada a adição de esterco de búfalo aumentou significativamente o teor de fósforo na parte aérea das plantas (VERMA & ARYA, 1998). O aumento no teor de fósforo nas plantas micorrizadas é proveniente de uma maior disponibilidade de fósforo no solo e no composto orgânico, devido a mineralização deste, conseqüência de uma maior atividade de enzimas fosfatases, proveniente da presença dos FMAs no solo (TARAFDAR & MARSCHNER, 1994). O fósforo quando no solo é solubilizado pelos microrganismos, o qual só pode ser absorvido pelas plantas se estiver em contato imediato com a superfície da raiz,

contudo, os FMAs produzem um alongamento na área de absorção das raízes, possibilitando a exploração de grande parte do solo não inexplorado pelas raízes (SIQUEIRA et al., 2010).



Fonte: Autor.

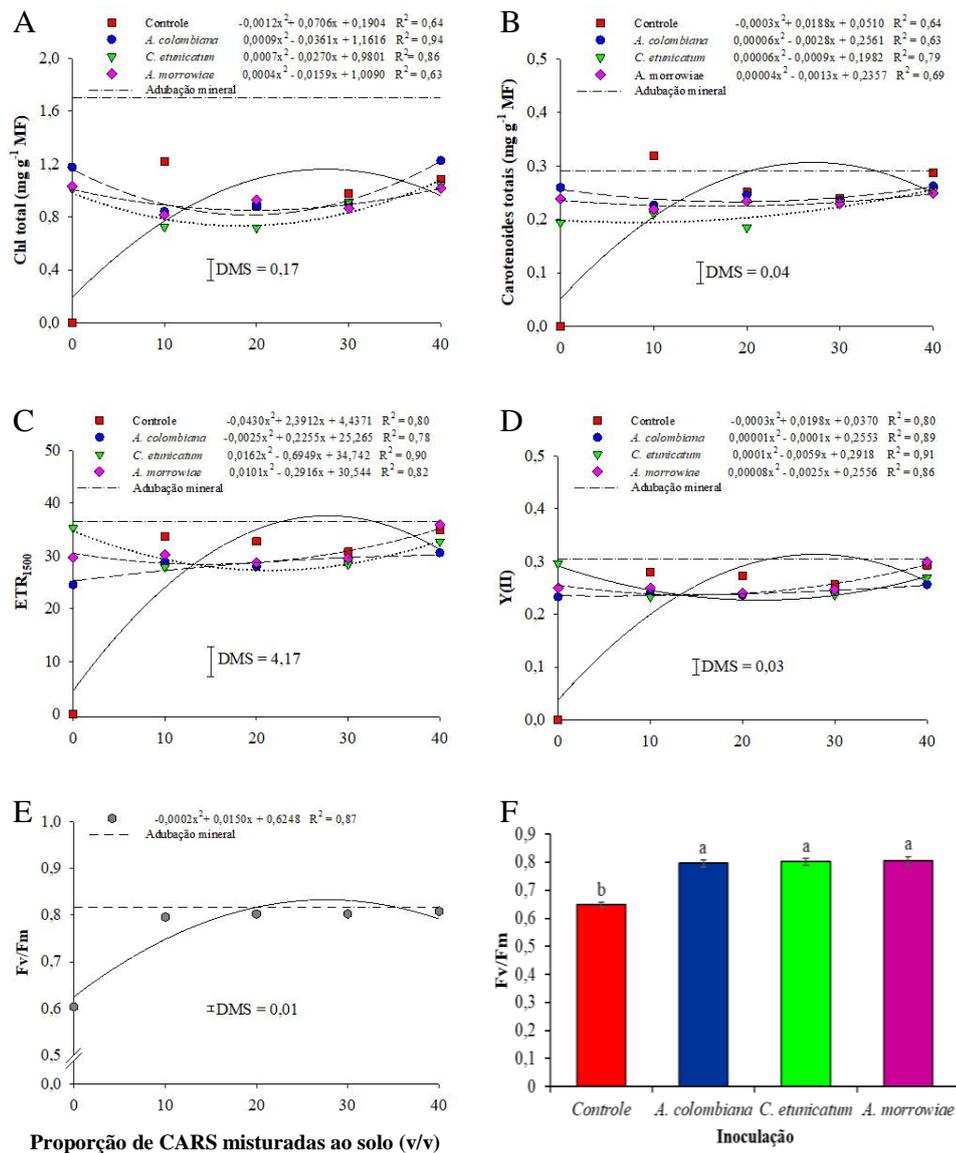
Figura 5. Equações de regressão dos fatores de variação proporções de CARS e inoculação para os teores foliares de nitrogênio (N) na parte aérea (A) e radicular (B), fósforo (P) na parte aérea (C) e radicular (D), e potássio (K) na parte aérea (E) e radicular (F) das plantas de morangueiro da cultivar Aromas. **A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro

O potássio na parte aérea das plantas de morangueiro apresentou tendência quadrática, aumentando os teores de K com a adição do composto, não havendo diferença significativa entre as inoculações, com pontos de máxima com adição de 30% de CARS para o controle,

33% para as inoculações com *A. colombiana* e *C. etunicatum*, e 36% para *A. morrowiae*, ultrapassando a faixa de teor obtido pelas plantas fertilizadas com adubo mineral (Figura 5E). Esse aumento na quantidade de K pode ser proveniente do maior aporte nutricional, e conseqüentemente, maior concentração de potássio com o aumento das proporções, elevando também os níveis de absorção, combinado à presença dos FMAs, os quais podem aumentar a absorção de K em torno de 10% (MARSCHNER & DELL, 1994).

O potássio radicular apresentou tendência quadrática crescente, com o aumento nas proporções de CARS, com exceção da inoculação com *A. colombiana* que apresentou aumento linear nos teores de K. O controle apresentou o maior teor de K nas raízes das plantas, com ponto de máximo teor alcançado com a adição de 38% de CARS (Figura 5F). A elevação dos teores de potássio pode ser consequência do aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas. Com isso é difícil de isolar o efeito do FMAs na absorção desse elemento, se é proveniente do fungo ou da absorção de P (SIQUEIRA et al., 2010). Cardoso et al. (1986), trabalhando com porta-enxertos de limão cravo e laranja-caipira inoculados com FMAs observaram aumento nos teores de P e K, com baixos teores de P disponível no substrato de 5 mg dm⁻³, porém, em níveis mais elevados de P no solo (100 mg dm⁻³) foi observada redução na absorção desses nutrientes, assim como no crescimento das plantas.

Os teores de clorofila total (Chl a + Chl b) nos folíolos apresentaram comportamento quadrático, com valores abaixo do nível obtido na adubação mineral em todas as proporções. As inoculações promoveram elevação crescente nos teores de clorofila com a adição das proporções de CARS. Já o controle (sem inoculação) apresentou aumento, com decréscimo a partir da proporção de 29%, sendo o ponto de máximo teor de potássio obtido pelo tratamento. (Figura 6A). Silva et al. (2017), trabalhando com mudas de tomateiro, perceberam aumento no teor de clorofila em plantas que receberam a adição de substâncias húmicas (SHs), sendo que este não diferiu das plantas inoculadas com FMAs. Já as plantas apenas com a presença de FMAs, foi observado um aumento no teor de clorofila quando comparado às plantas controle (sem inoculação). Em estudo com plantas da família Fabaceae inoculadas com FMAs, Kaschuk et al. (2010) concluíram usando meta-análises, que a associação micorrízica aumentou a atividade fotossintética das plantas, o que resultou também em aumento no teor de clorofilas.



Fonte: Autor.

Figura 6. Equações de regressão dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para o teor de clorofila total (Chl total) (A), carotenoides totais (B), taxa de transporte de elétrons (ETR_{1500}) (C), rendimento quântico efetivo do PSII (YII) (D) e desdobramento dos efeitos simples significativos dos fatores de variação proporção de CARS e inoculação para a eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) (E e F), das plantas de morangueiro da cultivar Aromas *Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$). **A adubação mineral realizada de acordo com a recomendação do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), para a cultura do morangueiro.

Os teores de carotenoides totais apresentaram comportamento quadrático, com exceção do controle que apresentou aumento com a adição das proporções de CARS, porém, apresentou decréscimo a partir da proporção de 31 % do composto, se equivalendo aos demais tratamentos.

Na proporção 0 % de CARS, houve diferença significativa entre os tratamentos, com teores mais elevados de carotenoides nas plantas inoculadas, quando comparadas ao controle (sem inoculação) (Figura 6B). Concentrações mais elevadas de carotenoides foram observada em mudas de cafeeiro cultivadas em solo com adição de esterco e inoculadas com FMAs, proporcionando valores 49% superiores as plantas não micorrizadas (TRSTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006). Os carotenoides assim como as clorofilas, são pigmentos responsáveis por captar luz e auxiliar no processo fotossintético (KRISHNA et al., 2005), podendo atuar como agentes antioxidantes protegendo as plantas de estresses oxidativos (AZEVEDO NETO; GOMES-FILHO; PRISCO, 2008; FALK & MUNNÉ-BOSCH, 2010), e funcionando como uma válvula de segurança que libera o excesso de energia absorvido antes que ocorram danos no aparato fotossintético (TAIZ et al., 2017). Logo, se pode inferir que a presença dos FMAs aumenta os teores de carotenoides diminuindo possíveis riscos de estresses pelas plantas, o que pode ter possibilitado melhor desenvolvimento das plantas micorrizadas, na proporção zero de CARS.

As regressões para a taxa de transporte de elétrons (ETR_{1500}) apresentaram tendência quadrática, ocorrendo aumento com a adição de CARS, chegando próximo a faixa obtida pela adubação mineral. O controle apresentou decréscimo acima da proporção de 28% de CARS, não diferindo das demais inoculações. Na proporção zero, as inoculações foram superiores ao controle, sendo a inoculação com *C. etunicatum* a proporcionar a maior taxa de transporte, não diferindo da inoculação com *A. morrowiae* (Figura 6C). Se a quantidade de clorofila associada ao PSII diminui, conseqüentemente a fração de energia absorvida na etapa fotoquímica diminuirá, influenciando também na cadeia de transporte de elétrons (LICHTENTALER et al., 2005). As oscilações observadas na taxa de transporte entre as diferentes proporções se devem algum estresse biótico ou a biótico que a planta veio a sofrer durante os 120 dias (BOWN et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002), podendo inferir assim que as plantas na proporção zero foram beneficiadas pelas micorrizas em relação às plantas controle, e que a presença do composto orgânico reduziu o estresse do tratamento controle, reduzindo o efeito da inoculação, chegando muito próximo aos valores obtidos pela adubação mineral recomendada à cultura.

Em relação aos valores de rendimento quântico efetivo do PSII (YII), evidenciou-se interação significativa entre as proporções de CARS e inoculações, com tendência quadrática crescente para as inoculações com adição de CARS, com exceção do controle que reduziu com adição acima de 33%, se equivalendo aos demais. Na proporção zero os tratamentos inoculados foram superiores ao controle (sem inoculação). A inoculação com *C. etunicatum* apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente das demais (Figura 6D). Esse parâmetro é indicador

da fração de energia absorvida pela clorofila associada ao PSII que foi utilizada na etapa fotoquímica, informando juntamente a quantidade de elétrons transportados, funcionando como indicativo de como está fluindo o processo fotossintético (LICHTENTALER et al., 2005). A elevação nos valores de YII evidencia um maior aproveitamento de energia luminosa pelas plantas inoculadas na ausência do composto, resultando em maior proporção de energia absorvida pelas mesmas. Contudo ao adicionar CARS os tratamentos se equivaleram não demonstrando efeito da inoculação sobre as plantas na presença do composto.

O parâmetro fisiológico de fluorescência da clorofila referente a eficiência máxima do PSII (F_v/F_m) não demonstrou interação significativa entre as inoculações e as proporções do composto, sendo os fatores desmembrados em fator simples. A F_v/F_m foi maior com a adição de CARS, com ponto de máxima na proporção de 28%, se equivalendo à adubação mineral (Figura 6E). Já para o fator simples inoculação, as inoculações foram superiores ao controle (sem inoculação), não diferindo entre os isolados (Figura 6F). Santana et al. (2015), observaram aumento no rendimento quântico do PSII em plantas de feijão de porco ao adicionar vermicomposto ao solo, sendo superior às plantas cultivadas na ausência do composto orgânico. Valores de F_v/F_m próximos a 0,85 são considerados indicativos de plantas saudáveis, podendo variar entre diferentes espécies (KALAJI & GUO, 2008). A inoculação de FMAs em plantas de abacaxizeiro melhorou o parâmetro de F_v/F_m , auxiliando na diminuição na perda de energia em forma de calor pelas plantas (SILVA et al., 2014). A adição de composto, assim como a inoculação de FMAs, possibilitam melhora nas taxas fotossintética e no aproveitamento de energia, promovendo a obtenção de plantas mais saudáveis.

A diminuição nos valores de F_v/F_m são indicativos de fotoinibição, representando perda de eficiência do aproveitamento da luz pelas plantas (THACH et al., 2007). Dentre os parâmetros fisiológicos a eficiência máxima do PSII é a que melhor representa o estado fotossintético em que a planta se encontra, uma vez que valores inferiores a 0,83 já representa um indicativo de estresse e de futuro dano no aparato fotossintético caso se agrave (ROUSSEAU et al., 2013; MAXWELL & JOHNSON, 2000). Os FMAs interferiram positivamente no estado fotossintético das plantas de morangueiro, possibilitando adequação nos valores de eficiência do PSII, diminuindo o risco de fotoinibição e conseqüentemente estresse pelas plantas.

A adubação mineral ainda se demonstrou superior à adubação orgânica e na presença de FMAs, porém, os resultados obtidos ao combinar adubação orgânica e micorrização são promissores, devido a possibilitar uma redução no uso de insumos químicos, podendo minimizar os custos de produção da cultura.

5.6 CONCLUSÕES

A adição de CARS proporciona maior desenvolvimento das plantas de morangueiro da cultivar Aromas, mas inibe o efeito nutricional dos fungos micorrízicos arbusculares.

O isolado *Acaulospora morrowiae* possui maior afinidade com as plantas de morangueiro na presença dos compostos orgânicos e sua utilização com 40% de CARS resulta em equivalência à adubação mineral para a maioria dos parâmetros fenológicos do morangueiro.

A adição de CARS e a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares incrementam os teores de fósforo nos tecidos das plantas de morangueiro, promovendo melhora nos componentes fotossintéticos das plantas com aumento das proporções de CARS.

5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO, E. T.; GALÁN, A. L. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. **Agronomía Costarricense**, v. 30, n. 1, p. 65-73, 2006.

AL-KARAKI, G. N. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. **Scientia Horticulturae**, v. 109, n. 1, p. 1-7, 2006.

ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, A. M. A cultura do morango. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2011, 52 p. (Plantar, 68).

AZEVEDO NETO, A. D.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Salinity and oxidative stress. In: KHAN, N.A; SINGH, S. **Abiotic stress and plant responses**. New Delhi: I K International, 2008. p.57-82.

BOJÓRQUEZ, A. A. D. et al. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. **Ra Ximhai**, v. 6, n. 1, p. 51-56, 2010.

BORKOWSKA, B. Growth and photosynthetic activity of micropropagated strawberry plants inoculated with endomycorrhizal fungi (AMF) and growing under drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 24, n. 4, p. 365–370, 2002.

BOWN, A. W.; HALL, D. E.; MACGREGOR, K. B. Insect footsteps on leaves stimulate the accumulation of 4aminobutyrate and can be visualized through increased chlorophyll fluorescence and superoxide production. **Plant Physiology**, v. 129, n. 4, p. 1430-1434, 2002.

CAMARGO, C. K. et al. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2985-2994, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e, porta-enxertos de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 10-17, 1986.

CASTELLANOS-MORALES, V. et al. Root colonisation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* alters the quality of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* Duch.) at different nitrogen levels. **Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 11, p. 1774–1782, 2010.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.1099-1106, 2002.

FALK, J.; MUNNÉ-BOSCH, S. Tocochromanol functions in plants: antioxidation and beyond. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 61, n. 6, p. 1549-1566, 2010.

FAN, L. et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass and root morphology of selected strawberry cultivars under salt stress. **Botanique**, v. 89, n. 6, p. 397–403, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 Ed. Viçosa: UFV, 2008. 421p.

FIGUEIREDO, C. C. et al. Mineralização de esterco de ovinos e sua influência na produção de alface. **Horticultura Brasileira**, v, 30, n. 1, p. 175-179, 2012.

GARLAND, B. C. et al. Influence of Summer Cover Crops and Mycorrhizal Fungi on Strawberry Production in the Southeastern United States. **Horticultural Science**, v. 46, n. 7, p. 985–992, 2011.

GIOVANNETTI, M. et al. The occurrence of anastomosis formation and nuclear exchange in intact arbuscular mycorrhizal networks. **New Phytologist**, v. 151, n. 3, p. 717–724, 2001.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. **New Phytologist**, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GOMES JÚNIOR, J. et al. Crescimento e produtividade de tomateiros do grupo cereja em função da aplicação de biofertilizante líquido e fungo micorrízico arbuscular. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 627-633, 2011.

HENDRY G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (eds). **Methods in Comparative Plant Ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p.148-152.

HODGE, A.; CAMPBELL, C. D.; FITTER, A. H. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. **Nature**, v. 413, n. 6853, p. 297-299, 2001.

JOHANSEN, A.; JAKOBSEN, I.; JENSEN, E. S. Hyphal transport of N-labelled nitrogen by a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and its effect on depletion of inorganic soil N. **New Phytologist**, v. 122, n. 2, p. 281-288, 1992.

KALAJI, H. M.; GUO, P. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. In: SÁNCHEZ, A.; GUTIERRES, S. J. **Photochemistry Research Progress**. New York: Nova Science Publishers, 2008. p. 439-463.

KASCHUK, G. et al. Responses of legumes to rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi: A meta-analysis of potential photosynthate limitation of symbioses. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 125-127, 2010.

KRISHNA, H. et al. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 4, p. 554-567, 2005.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMAN, KNAPP, M. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio F_v/F_m of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, v. 43, p. 379-393, 2005.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIMA, E. V. et al. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macro-nutrientes no florescimento do feijoeiro. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 125-129, 2001.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89-102, 1994.

MARTÍNEZ, L. F. S. **Calidad y Rendimiento de Fresa Inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Produção Agrícola Sustentável) - Instituto Politécnico Nacional, Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación, Jiquilpan Mich, 2012.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of experimental botany**. Oxford, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2008.

MONTEIRO, G. C. et al. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 140-148, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. p. 399-471.

NUNES, J. L. S. et al. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento do porta-enxerto de pessegueiro 'Aldrichi'. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 931-940, 2009.

OLIVEIRA, J. G.; ALVES, P. L. C. A.; MAGALHÃES, A. C. The effect of chilling on the photosynthetic activity in coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. The protective action of chloroplastid pigments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 95-104, 2002.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M. Produção orgânica de alface e atributos de solo pela aplicação de composto de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 195-199, 2009.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. **Calagem e adubação do morangueiro**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, Centro de Horticultura, 2013. 16p.

PAULA, V. A. et al. Produção e distribuição de massa seca da parte aérea do morangueiro cultivado em ambiente protegido sob adubação orgânica. **Horticultura Brasileira**. v. 6, n. 2, 5931-5935, 2008.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158–161, 1970.

PRÁ, M. A. D. et al. **Compostagem de dejetos líquidos de suínos**. Embrapa Milho e Sorgo. 1ª ed., p.25, 2005.

RAVNSKOV S. et al. Soil inoculation with the biocontrol agent *Clonostachys rosea* and the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* results in mutual inhibition, plant growth promotion and alteration of soil microbial communities. **Soil Biology Biochemistry**, v. 38, n. 12, p. 3453-3462, 2006.

RODRIGUEZ, K. R.; ORTUÑO, N. Evaluación de micorrizas arbusculares en producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. **Acta Nova**, v. 3, n. 4, p. 697-719, 2007.

ROUSSEAU, C. et al. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2013.

SANTANA, N. A. et al. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on copper phytoremediation in a sandy soil. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 172-182, 2015.

SANTOS A. M.; MEDEIROS A. R. M. **Nutrição, calagem e adubação**. In. Morango Produção. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2003. p. 39-45. (Frutas do Brasil 40).

SANTOS, J.F. dos. **Fertilização orgânica de batata-doce com esterco bovino e biofertilizante**. 2008. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia/PB, 2008.

SAS PASZT, L. et al. The influence of bioproducts on root growth and mycorrhizal occurrence in the rhizosphere of strawberry plants ‘Elsanta’. **Journal of Fruit Ornamental Plant Research**, v. 19, n. 1, p. 13-34, 2011.

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376p.

SENA, J. O. A. et al. Cinética de absorção com doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares em *Nicotiana tabacum*. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 294-298, 2014.

SILVA, D. K. A. et al. Uso de vermicomposto favorece o crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L. ‘Morada’) associadas a fungos micorrízicos arbusculares. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 3, p. 863-869, 2008.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, M. B. et al. Resposta do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* e adição de substâncias húmicas no crescimento do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). **Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, p. 123-130, 2017.

SILVA, Marliane de Cássia Soares et al. Efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e de *Piriformorpha indica* sobre parâmetros fotossintéticos de abacaxizeiro. In: FERTBIO – FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO: INTEGRAÇÃO E TECNOLOGIA PARA TODOS, 2014, Araxá, MG. **Anais...Araxá: FERTBIO**. 411 p., 2014.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed London, UK: Academic Press; 2008. 800 p.

STEWART, L. I. et al. Response of strawberry to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under very high soil phosphorus conditions. **Mycorrhiza**, v. 15, n. 8, p. 612–619, 2005.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TARAFDAR, J. C.; MARSCHNER, H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with organic phosphorus. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 3, p. 387–395, 1994.

THACH, L. B. et al. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. **Photosynthesis Research**, v. 94, n. 2-3, p. 423-436, 2007.

TRINDADE, A. V.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVEIRA, A. P. D. Micorizas arbusculares na produção de mudas de plantas frutíferas e café. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 415- 439.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. S. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 649-658, 2006.

VERMA, R. K.; ARYA, I. D. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal isolates and organic manure on growth and mycorrhization of micropropagated *Dendrocalamus asper* plantlets and on spore production in their rhizosphere. **Mycorrhiza**, v. 8, n. 2, p. 113-116, 1998.

VIDIGAL, S. M. et al. Produtividade de cebola em cultivo orgânico utilizando composto à base de dejetos de suínos. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 168-173, 2010.

VOS, C. et al. Mycorrhiza-induced resistance in banana acts on nematode host location and penetration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 47, p. 60–66, 2012.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A. Rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

6 DISCUSSÃO

Os estudos com aplicação dos FMAs no cultivo de plantas de interesse vêm ampliando o conhecimento a respeito da especificidade dos isolados. A inoculação dos FMAs na promoção de melhor desenvolvimento de diversas culturas já é algo comprovado (LATEF & CHAOXING, 2011; KRISHNA et al., 2005), inclusive com benefícios efetivos no morangueiro (SINCLAIR et al., 2014; VOS et al., 2012). As espécies de FMAs estudadas apresentaram afinidade com as plantas de morangueiro de dia neutro em relação à colonização, sendo a maior colonização obtida nas plantas da cultivar Aromas, apresentando equivalência entre as inoculações para a maioria dos parâmetros fenológicos, com exceção do controle (sem inoculação) que diferiu dos demais. A cultura do morangueiro, devido ao cultivo em pequenas áreas pode configurar uma ótima possibilidade de utilização dos FMAs no solo ou no substrato, uma vez que um dos principais entraves é a reprodução dos fungos em grande escala para obtenção do inóculo (SIQUEIRA et al., 2010).

O isolado *Acaulospora colombiana* proporcionou maior porcentagem de colonização; porém, na presença dos compostos orgânicos teve seu desempenho simbiótico afetado. Contudo, o gênero *Acaulospora*, devido à especificidade da espécie pode responder muito bem a adição dos compostos, como aconteceu com a inoculação de *A. morrowiae* que respondeu bem a adição de CARS, otimizando o efeito do composto. A combinação de compostos orgânicos com a inoculação de FMAs pode possuir uma ação benéfica no desenvolvimento de plantas (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006; SAS PASTZ et al., 2011).

Os FMAs possibilitam maior teor de fósforo no tecido das plantas em solos com baixos teores de fósforo (SMITH & READ, 2008). Contudo, no substrato formulado a partir da adição de CARS, onde os teores de nutrientes eram elevados, além de possibilitar maiores teores de P via composto, o fungo maximizou essa absorção, se equivalendo muitas vezes à adubação mineral. Podemos inferir assim, que a colonização de FMAs em altos teores de fósforo é possível, possibilitando a otimização do efeito do CARS.

O CARS possibilitou equivalência aos demais compostos orgânicos para a maioria dos parâmetros fenológicos, com exceção da matéria seca das plantas. Contudo, mostrou superioridade aos demais nos teores foliares de P, ultrapassando a adubação mineral, não diferindo dos demais compostos para o K. Quando combinado aos FMAs, o CARS proporcionou valores mais elevados em relação à sua utilização sem inoculação. Estudos com a utilização de CARS exaltam sua qualidade nutricional, e sua importância como constituinte de um substrato, no aumento dos teores de P e K no solo (LOURENZI et al., 2016; OLIVEIRA,

2003), e seus benefícios no desenvolvimento de plantas (MONTEIRO et al., 2011; PARIZOTTO & PADOLFO, 2009). Estudos que contemplem a utilização de proporções maiores de CARS e outras espécies de FMAs, em diferentes cultivares de morangueiro, abrangendo as de dia curto, são importantes, pois podem revelar algum isolado eficiente para uso como inóculo e assim auxiliar no desenvolvimento de alternativas aos adubos fosfatados, além de beneficiar o cultivo do morangueiro.

6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KRISHNA, H. et al. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 4, p. 554–567, 2005.

LATEF, A. A. H. A.; CHAOXING, H. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 228-233, 2011.

LOURENZI, C. L. et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 233-242, 2016.

MONTEIRO, G. C. et al. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface. **Enciclopédia Biosfera**. v. 8, n. 14, p. 140-148, 2012.

OLIVEIRA, P. A. V. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering**, v.23, n.3, p.398-626, 2003.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M. Produção orgânica de alface e atributos de solo pela aplicação de composto de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 195-199, 2009.

SAS PASZT, L. et al. The influence of bioproducts on root growth and mycorrhizal occurrence in the rhizosphere of strawberry plants 'Elsanta'. **Journal of Fruit Ornamental Plant Research**, v. 19, n. 1, p. 13-34, 2011.

SINCLAIR, G. et al. Influence of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on three strawberry cultivars under salty conditions. **Agricultural and Food Science**. v. 23, n. 2, p. 146-158, 2014.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed London, UK: Academic Press; 2008. 800 p.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. S. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 649-658, 2006.

VOS, C. et al. Mycorrhiza-induced resistance in banana acts on nematode host location and penetration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 47, p. 60–66, 2012.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fungos micorrízicos arbusculares possuem afinidade com plantas de morangueiro, em especial o gênero *Acaulospora* que coloniza amplamente as plantas tanto na presença quanto na ausência de composto orgânico.

A adição do composto de água residuária da suinocultura em solo, em geral, proporciona bom desenvolvimento das plantas de morangueiro, propondo uma alternativa aos compostos já comumente utilizados no cultivo do morangueiro, assim como uma finalidade para resíduos da produção suinícola, os quais possuem características altamente poluentes quando manejados de forma incorreta.

O uso de CARS como componente de substrato eleva os teores de P nos tecidos das plantas, sendo sua ação otimizada na presença dos fungos micorrízicos, sendo equivalente a adubação mineral.

Ainda há controvérsias quanto a especificidade dos FMAs e seus benefícios para o cultivo do morangueiro, assim como a utilização do CARS, tornando-se importante a elaboração de novos estudos com esses componentes, a fim de encontrar espécies de FMAs com potencial de inóculo, bem como a proporção adequada de CARS para o morangueiro.