

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

Juliano De Oliveira Stumm

**FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO
SOLO E MICORRIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE *Eucalyptus grandis* W.
Hill ex Maiden.**

Frederico Westphalen, RS.
2020

Juliano De Oliveira Stumm

**FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO SOLO E
MICORRIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.**

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: Prof. Dr. Rodrigo Ferreira da Silva

Frederico Westphalen, RS.
2020

Stumm, Juliano de Oliveira
FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO
SOLO E MICORRIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE Eucalyptus grandis W.
Hill ex Maiden. / Juliano de Oliveira Stumm.- 2020.
90 p.; 30 cm

Orientador: Rodrigo Ferreira da Silva
Coorientador: Clóvis Orlando da Ros
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2020

1. Eucalipto 2. Adubo orgânico 3. Micorriza do solo
4. Inoculante I. Ferreira da Silva, Rodrigo II. Orlando
da Ros, Clóvis III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2020

Todos os direitos reservados a Juliano de Oliveira Stumm. A reprodução em partes ou de todo deste trabalho só poderá ser realizada mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro, s/n - BR386, km 40. CEP: 98400-000. Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Fone: (55) 98469-0699; Endereço eletrônico: julianoostumm@gmail.com

Juliano De Oliveira Stumm

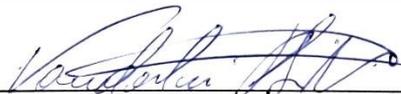
**FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO SOLO E
MICORRIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.**

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**.

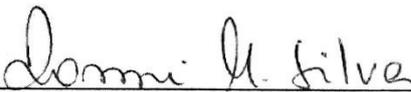
Aprovado em 27 de março de 2020:



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



Vanderlei Rodrigues da Silva Dr. (UFSM)



Danni Maisa da Silva, Dra. (UERGS)
(Defesa por videoconferência)

Frederico Westphalen, RS.
2020

*Aos meus pais Paulo e Zeli
e a minha irmã Lauren,
pelo tanto que torceram e me apoiaram.
Responsáveis por sonhar comigo esses sonhos.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar, me manter forte a estar meu lado nas horas boas e difíceis.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e o programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade do Mestrado.

A minha família, meus pais Paulo e Zeli, e a minha irmã Lauren, por estarem sempre ao meu lado, pelo apoio incondicional e confiança no meu potencial.

Ao meu orientador, professor e amigo Rodrigo Ferreira da Silva, pela oportunidade, e orientação neste trabalho.

Ao professor Clovis O. da Ros pelos ensinamentos, amizade e contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Genesio M. da Rosa, Edison B. Cantarelli e a professora Hilda H. Soriani por disponibilizarem infraestruturas, equipamentos e laboratórios para avaliações.

Aos membros da banca examinadora, Vanderlei R. da Silva, Danni M. Silva e Marcia Matsuo Rosa, pela disponibilidade e contribuições.

Aos técnicos laboratoriais e amigos Andrea da R. Giovenardi, Lucindo Somavilla, Marcela de M. Torchelsen e Fernanda Volpatto, pelo auxílio na realização de análises e concessão de equipamentos e materiais.

Aos amigos e colegas do laboratório de microbiologia e biologia do solo que muito contribuíram para a realização deste trabalho: Djavan A. Coinaski, Juliano B. Magalhães, Daiane S. Andreola, Fernanda Devens, Ana Paula da Silva, Claudiane S. Bellocchio, Guilherme Manzano, Victorino M. dos Santos, Cristiana Schmidt.

Aos amigos Gerry, Felipe Dapper, Felipe Bonini, Nádia, Marcelo, Tassiana, Anderson, Fagner, Guilherme e Juliano Cesar, amigos que fizeram parte desses momentos, dando apoio e contribuição.

Aos demais amigos que fiz nessa jornada da graduação e pós-graduação, pelo carinho que tenho por vocês.

Aos demais professores e funcionários da UFSM-FW.

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

A todos aqueles não citados, mas que contribuíram de uma forma ou outra e fizeram parte dessa conquista.

A TODOS, MUITO OBRIGADO!

*“Se eu vi mais longe, foi por estar em pé
sobre ombros de gigantes...”*

(Isaac Newton)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria

FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO SOLO E MICORRIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

AUTOR: Juliano de Oliveira Stumm
ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

Os resíduos de origem animal podem ser explorados como fertilizantes para o cultivo de espécies agrícolas e florestais. Os fertilizantes orgânicos podem ser granulados com remineralizadores do solo para aumentar seus nutrientes, além de facilitar a aplicação dos mesmos ao solo e quando associados a microrganismos do solo podem apresentar efeito positivo ao crescimento de plantas. O objetivo geral deste trabalho foi analisar diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores e espécies de fungos micorrízicos na produção de mudas e no crescimento de *Eucalyptus grandis*. Para isso, foram desenvolvidos três trabalhos científicos: O primeiro trabalho constituiu-se em selecionar micorrizas para formação de mudas de *E. grandis* cultivadas com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores do solo, para posterior transplante a campo. No segundo trabalho objetivou-se possibilitar a utilização de adubos organominerais remineralizadores do solo e ectomicorrização no crescimento de *E. grandis*. Já no terceiro trabalho objetivou-se testar a viabilidade de diferentes inoculantes micorrízicos submetidos a diferentes temperaturas e tempos de armazenamento, na colonização radicular e crescimento de mudas de *E. grandis*. Os fertilizantes organominerais (FOM) e organomineral remineralizador (FOMREMS) não diferiram do fertilizante mineral (FM) no crescimento de mudas de *E. grandis*, formadas para posterior transplante, podendo ser indicados como substitutos eficientes para a fertilização em viveiro. Os diferentes isolados micorrízicos apresentaram o mesmo efeito para as variáveis do crescimento das mudas, tendo contudo, o isolado *Suillus cothurnatus* (UFSC-SU118) contribuído para a altura de plantas superior. Os fertilizantes organominerais (FOM) e organomineral remineralizador do solo (FOMREMS), promovem maior desenvolvimento das plantas de *Eucalyptus grandis* após o transplante. A micorrização com *Pisolithus microcarpus* foi eficiente para a acumulação de fósforo nas raízes, principalmente em plantas cultivadas com o fertilizante remineralizador do solo (FM+REMS). Os diferentes materiais utilizados para a produção de inoculante do fungo *Pisolithus microcarpus* (UFSC-PT116), não apresentaram efeito sobre a colonização final das raízes pela ectomicorriza. A temperatura de armazenamento dos inoculantes influenciou a colonização das raízes de *Eucalyptus grandis*, onde todas (4°, 15°±1° e 25°C) apresentaram redução aos 60 dias.

Palavras-chave: Eucalipto. Adubo orgânico. Micorrizas do solo. Inoculante.

ABSTRACT

Master dissertation
Graduate Program in Agronomy, Agriculture and Environment
Universidade Federal de Santa Maria

ORGANOMINERAL FERTILIZERS SOIL REMINERALIZERS AND MICORRIZATION IN THE PRODUCTION OF *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

AUTHOR: Juliano de Oliveira Stumm

ADVISOR: Rodrigo Ferreira da Silva

Animal waste can be exploited as fertilizer for the cultivation of agricultural and forest species. Organic fertilizers can be granulated with soil remineralizers to increase their nutrients, in addition to facilitating their application to the soil and when associated with soil microorganisms they can have a positive effect on plant growth. The general objective of this work was to analyze different remineralizing organomineral fertilizers and mycorrhizal fungi species in the production of seedlings and in the growth of *Eucalyptus grandis*. For this, three scientific works were developed: The first work consisted in selecting mycorrhizae for the formation of *E. grandis* seedlings cultivated with different organomineral fertilizers remineralizing the soil, for later transplantation in the field. In the second work, the objective was to enable the use of organomineral fertilizers remineralizing the soil and ectomycorrhization in the growth of *E. grandis*. The third work aimed to test the viability of different mycorrhizal inoculants submitted to different temperatures and storage times, in the root colonization and growth of *E. grandis* seedlings. Organomineral fertilizers (FOM) and remineralizing organominerals (FOMREMS) did not differ from mineral fertilizers (FM) in the growth of *E. grandis* seedlings, formed for later transplantation, and can be indicated as efficient substitutes for nursery fertilization. The different mycorrhizal isolates had the same effect for the seedling growth variables, however, the isolate *Suillus cothurnatus* (UFSC-SU118) contributed to the height of plants. Organomineral fertilizers (FOM) and organomineral soil remineralizers (FOMREMS), promote greater development of *Eucalyptus grandis* plants after transplantation. Mycorrhization with *Pisolithus microcarpus* was efficient for the accumulation of phosphorus in the roots, mainly in plants cultivated with soil remineralizing fertilizer (FM + REMS). The different materials used for the production of inoculant of the fungus *Pisolithus microcarpus* (UFSC-PT116), had no effect on the final colonization of the roots by ectomycorrhiza. The storage temperature of the inoculants influenced the colonization of the roots of *Eucalyptus grandis*, where all (4°, 15° ± 1° and 25°C) showed a reduction at 60 days.

Keywords: *Eucalyptus*. Organic fertilizer. Soil mycorrhizae. Inoculant.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1 – Percentual de colonização micorrízica para fungo micorrízico (A) e fertilizante (B) utilizado na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. 38

CAPITULO II

Figura 1 – Percentual de colonização micorrízica dentro de cada fertilizante para os teores altos e baixos de fosforo (P) em mudas de *Eucalyptus grandis*. 60

CAPITULO III

Figura 1 – Percentual de colonização radicular das mudas de *Eucalyptus grandis* para as diferentes temperaturas de armazenamento dos inoculantes (isolado UFSC-PT116) em relação ao tempo de armazenagem. Fonte: Autor (2020)..... 71

Figura 2 – Altura de plantas (A), volume de raízes (B), diâmetro de colo (C), massa seca de plantas (D) e número de folhas (E) de mudas de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do tempo de armazenamento dos inoculantes de UFSC-PT116. Fonte: Autor (2020) 76

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

- Tabela 1 – Análise química e física do substrato (solo + areia) utilizado para implantação do experimento com *Eucalyptus grandis*.26
- Tabela 2 – Proporção de nutrientes aplicados ao substrato (solo+areia) em função dos componentes utilizados para a formulação dos diferentes tipos de fertilizantes. ...28
- Tabela 3 – Área Foliar (cm²) de mudas de *Eucalyptus grandis* com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores do solo e a inoculação com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e UFSC-PT132.....31
- Tabela 4 – Altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas, volume de raízes, massa seca de folhas (MS Folhas), massa seca do caule (MS Caule), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR) das mudas de *Eucalyptus grandis*, cultivadas com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo. 31
- Tabela 5 – Altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas, volume de raízes, massa seca de folhas (MS Folhas), massa seca do caule (MS Caule), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR) das mudas de *Eucalyptus grandis* inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e UFSC-PT132.....33
- Tabela 6 – Índices de qualidade relação altura diâmetro (H/D) e relação altura massa seca aérea (H/MSPA) de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivados com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo e a inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e UFSC-PT132. 34
- Tabela 7 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo e inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, PT116; SU118, e PT132.....35
- Tabela 8 – Índices de clorofila a, e clorofila total de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivados com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo e inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e USFC-PT132, obtidos com o clorofilometro digital (ClorofiLOG®, Falker CLF 1030)..36
- Tabela 9 – Índice de clorofila b de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas com diferentes adubos organomineral remineralizadores do solo, e o índice de clorofila b para de mudas inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, PT116; SU118, e PT132, obtidos com o clorofilometro digital (ClorofiLOG®, Falker CLF 1030)..37

CAPITULO II

- Tabela 1 – Análise química do solo originalmente utilizado e a sua mistura com areia média para a implantação do experimento com *Eucalyptus grandis*.....47
- Tabela 2 – Proporção de nutrientes aplicados em função dos componentes utilizados para a formulação dos diferentes tipos de fertilizantes.....49
- Tabela 3 – Diâmetro do Colo, Área Foliar, Massa Seca de Caule e Massa Seca Aérea de *Eucalyptus grandis* cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores com teores alto e baixo de fósforo, com e sem micorrização.....53
- Tabela 4 – Altura de Plantas, Número de Folhas, Volume Radicular, Área Superficial Específica (ASE) Radicular, e Massa Seca Radicular de *Eucalyptus grandis*, cultivado com diferentes fertilizantes organoremineraisl remineralizadores, com e sem micorrização.....55
- Tabela 5 – Teor de fósforo (P) presente nas raízes de *Eucalyptus grandis*, cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores com teor alto e baixo de fósforo, com e sem micorrização.56
- Tabela 6 – Fósforo na parte aérea (P aéreo), potássio nas raízes (K raiz), e nitrogênio nas raízes (N raiz) de *Eucalyptus grandis* cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores com teores alto e baixo de fósforo, com e sem micorrização.....57
- Tabela 7 – Teores de potássio na parte aérea (K aérea) de *Eucalyptus grandis*, cultivado com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores.58
- Tabela 8 – Índices de clorofila a (IChl a), clorofila b (IChl b), e clorofila total (IChl T) para os tratamentos dos diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores com teores alto e baixo de fósforo para produção de *Eucalyptus grandis* obtidos com o clorofilômetro digital (ClorofiLOG®, Falker CLF 1030).59

CAPITULO III

- Tabela 1 – Percentual de colonização radicular das mudas *Eucalyptus grandis* para os inoculantes utilizados na produção do inóculo de UFSC-PT116.72
- Tabela 2 – Diâmetro do colo de mudas *Eucalyptus grandis* para os locais de armazenamento e com os diferentes substratos utilizados na produção do inoculante de PT116.....73
- Tabela 3 – Altura de plantas, número de folhas, volume radicular e massa seca de mudas *Eucalyptus grandis* para as diferentes temperaturas de armazenamento utilizado na produção do inóculo de UFSC-PT116.....74
- Tabela 4 – Altura de plantas, número de folhas, volume radicular e massa seca de mudas *Eucalyptus grandis* para os diferentes substratos utilizados na produção do inoculante de PT116.74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	16
2.2 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES	17
2.3 FUNGOS MICORRIZICOS	20
3. CAPÍTULO I – FUNGOS MICORRIZICOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden. CULTIVADAS COM FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO SOLO	23
3.1 RESUMO	23
3.2 ABSTRACT	23
3.3 INTRODUÇÃO	24
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.4.1 Local	26
3.4.2 Delineamento	27
3.4.3 Instalação e condução do experimento	28
3.4.4 Avaliação morfológica	29
3.4.6 Parâmetros da Clorofila	30
3.4.7 Associação Micorrizica	30
3.4.8 Análise estatística	30
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.5.1 Avaliações morfológicas	30
3.5.2 Índices de Qualidade de mudas	33
3.5.3 Parâmetros da Clorofila	35
3.5.4 Colonização micorrízica	37
3.6 CONCLUSÕES	39
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
4. CAPÍTULO II – FERTILIZANTE ORGANOMINERAL REMINERALIZADOR E ECTOMICORRIZA NO CRESCIMENTO DE <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden.	44
4.1 RESUMO	44
4.2 ABSTRACT	44
4.3 INTRODUÇÃO	45
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.4.1 Local	46
4.4.2 Delineamento	47
4.4.3 Instalação e condução do experimento	50
4.4.4 Avaliação morfológica	50
4.4.5 Análise química da massa seca das plantas	51
4.4.6 Parâmetros da Clorofila	51
4.4.7 Associação micorrizica	51
4.4.8 Análise estatística	52
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.5.1 Avaliação Morfológica	52

4.5.2 Análise química da massa seca das plantas	55
4.5.3 Parâmetros da Clorofila	58
4.5.4 Associação Micorrízica	59
4.6 CONCLUSÕES	61
4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
5. CAPÍTULO III – VIABILIDADE DE INOCULANTE DE ECTOMICORRÍZAS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.	65
5.1 RESUMO	65
5.2 ABSTRACT	65
5.3 INTRODUÇÃO.....	66
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	68
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.6 CONCLUSÃO.....	77
5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
6. DISCUSSÃO GERAL	81
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do eucalipto destaca-se no Brasil devido ao seu potencial madeireiro, empregado principalmente na produção de biomassa para queima nas indústrias e produção de celulose. É uma planta muito responsiva a fertilidade do solo e com produtividade elevada, o que resulta, geralmente, em altos investimentos em fertilizantes no seu cultivo que, se não for bem conduzido, pode provocar o esgotamento do solo pela exportação de nutrientes (biomassa).

Com o custo expressivo dos fertilizantes minerais tem se empregado como alternativas resíduos orgânicos com potencial de fertilização do solo, como as águas residuárias da suinocultura, que apresentam volume crescente nos últimos anos em decorrência ao aumento da produção e exportação de carne suína. As águas residuárias da suinocultura possuem nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, porém são geralmente muito diluídos, de forma que sua aplicação se torna onerosa com o transporte a médias e longas distâncias. Desse modo, vem sendo desenvolvido o processo de granulação desse fertilizante juntamente com a adição dos chamados remineralizadores do solo, obtidos pela moagem de diferentes materiais rochosos, como fontes de nutrientes. Neste processo, as águas residuárias da suinocultura precisam passar ainda pela fase de concentração dos sólidos, para que a umidade restante permita a granulação e a estabilidade dos grânulos com os remineralizadores. Os remineralizadores se caracterizam como uma fonte de nutrientes de liberação lenta, que permitem um melhor aproveitamento pelas plantas perenes.

As diferentes espécies do gênero *Eucalyptus* sp. apresentam associação simbiótica com os fungos ectomicorrízicos (fECM) e fungos micorrízicos arbusculares (fMA), que propiciam a troca mutualística entre as hifas dos fungos, fornecendo água e minerais para as plantas, e as raízes das plantas, fornecendo fotoassimilados para os fungos. As hifas dos fECM não penetram o espaço intracelulares, porém ocupam a lamela média das células das raízes para realizar a trocas fornecidas às plantas e aos fungos. Nos chamados fMAs, as relações de trocas são as mesmas, entretanto o fungo coloniza não só o espaço da lamela média, como o interior das células formando uma estrutura para as trocas chamado de arbúsculos. As hifas dos fungos exploram um volume de solo além do explorado normalmente pelas raízes em busca de água e excretarem enzimas e ácidos orgânicos que solubilizam nutrientes permitindo sua absorção. Os fECM apresentam ainda uma estrutura chamada de manto fúngico, onde suas hifas recobrem as raízes da planta protegendo-as de substâncias tóxicas ou nutrientes em excesso no solo, com potencial contaminante. A presença da associação micorrízica pode possibilitar a sobrevivência da planta em solos com baixa fertilidade, déficit hídrico e/ou contaminado com metais pesados.

Entretanto, há grande especificidade entre as espécies arbóreas e os isolados de fungos micorrizicos com respostas diferentes às condições do ambiente de cultivo. Assim, é importante que haja a seleção de isolados que possam apresentar associação micorrízica favorável para as condições do cultivo das mudas florestais.

Além das dificuldades em se selecionar os isolados fúngicos mais eficientes para cada espécie florestal, há também, a dificuldade de se produzir inóculos em grande escala que permita a sua utilização nos sistemas de produção, seja na micorrização de mudas em viveiro, seja na micorrização a campo. As técnicas utilizadas na produção de inóculos, principalmente ectomicorrízicos, são altamente tecnificadas e de difícil implantação para a produção de inoculantes em larga escala comercial, o que torna necessário o estudo de processos simples, mas com bom desempenho na micorrização das mudas.

O uso de fertilizantes de origem organomineral juntamente com remineralizadores do solo e a micorrização em *Eucalyptos sp.* podem ser uma alternativa para produção de mudas de boa qualidade. Nesse sentido, elaboraram-se as seguintes hipóteses para esse trabalho: (I) A utilização de inóculos de fungos micorrizicos independe da composição do fertilizante organomineral remineralizador do solo utilizado; (II) O desempenho e a qualidade das mudas produzidas com fertilizantes organominerais remineralizadores depende da determinação das melhores proporções e combinações dos componentes desses fertilizantes; (III) A colonização radicular por inoculantes de fungos micorrizicos é afetada pelo tipo de inoculante, temperatura e tempo de armazenamento.

Para atender as hipóteses e os objetivos propostos neste estudo, o trabalho foi dividido em três experimentos. O primeiro experimento foi conduzido com o objetivo de selecionar micorrizas para a produção de mudas de *E. grandis* cultivadas com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores do solo; O segundo foi conduzido com o objetivo de possibilitar a utilização de adubos organominerais remineralizadores do solo e ectomicorrização no crescimento de *E. grandis*. Na sequência, o terceiro experimento foi conduzido para testar a viabilidade de diferentes inoculantes micorrízicos submetidos a diferentes temperaturas e tempos de armazenamento, na colonização radicular e crescimento de mudas de *E. grandis*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*.

O gênero *Eucalyptus* é a designação de um grande número de espécies (mais de 500, sem considerar as variedades e híbridos), originárias da Austrália, Indonésia e outras ilhas da Oceania, classificadas 7 subgêneros: *Blakella*; *Corymbia*; *Eudesmia*; *Gaubaea*; *Idiogenes*; *Monocalyptus*; *Telocalyptus*; e *Symphomyrtus* (subgênero com a maioria das espécies cultivadas para fins madeireiros) (PRYOR & JOHNSON, 1971; HIGA & STURION, 1997, BOLAND et al., 2006). As plantas de Eucalipto são em geral arbóreas, com altura de 30 a 50 m, no entanto há espécies com porte mais mediano e algumas arbustivas (BOOKER & KLEINING, 2014). Suas folhas são glabras, afiestomáticas, com estômatos do anomocítico e dispostos no mesmo plano das demais células epidérmicas (REVOLTI, 2015) e, segundo Tuffi Santos et al (2006) há uma menor concentração de estômatos na superfície adaxial em comparação com a abaxial, e essa característica está relacionada com a assimilação de CO₂.

O Eucalipto pertencente à família das Myrtaceae (BRETON, 2011), acredita-se que durante o seu processo de evolução o *Eucalyptus* se adaptou a condições de baixa fertilidade dos solos, natural em seu ambiente, com baixos teores de fósforo (QUEIROZ & BARRICHELO, 2007). Muitas das espécies de *Eucalyptus* crescem em solos com baixa fertilidade, porém possuem capacidade de responder com taxas de crescimento acentuadas em solos com níveis altos de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (KEINERT JUNIOR, 1985; PIO, 2002).

As espécies mais utilizadas no momento, pela silvicultura brasileira, por suas características de madeira, são: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, e o *E. viminalis* (EMBRAPA, 2019). Em avaliação de 9 diferentes espécies de *Eucalyptus spp.* Brito et al (1983), encontrou os maiores volumes de madeira produzidos por *E. grandis*, em relação as demais para a mesma altura de plantas, relacionado ao seu maior desenvolvimento de diâmetro na altura do peito. Em trabalho conduzido por Iwakiri et al (2004) com espécies de eucalipto para produção de chapas de partículas orientadas (OSB) o *E. grandis* e o *E. saligna* apresentaram as melhores propriedades mecânicas que as demais espécies.

O setor florestal brasileiro contribui com uma parcela importante para a economia, pois é responsável pela produção de produtos madeireiros destinados ao consumo interno e para exportação, além da geração de empregos e impostos, é responsável pela preservação dos recursos naturais (florestas nativas), que são preservados pela exploração de seus cultivos

(VITAL, 2007). A produção de produtos florestais do Brasil apresenta a maior produção de celulose de fibra de Eucalipto e de compensados de Pinus do mundo, com mais de 9,85 milhões de hectares de *Eucalyptus* spp. (75,2%) e *Pinus* spp. (20,6%) plantados em 2017 (IBGE, 2018). Almeida (2010), comparando a competitividade de madeira serrada do Brasil com o Canadá (país com tradição histórica de exploração madeireira) indica que competitividade entre esses países difere em relação ao grau de desenvolvimento e ao tamanho dos seus seguimentos de serrados. O valor do PIB do setor brasileiro de árvores plantadas representou 1,1% diretamente, além de representar a 5,5% do PIB industrial, gerando um rendimento de R\$ 7,8 mil por cada hectare plantado no ano de 2014, superando o complexo soja que chegou a R\$ 4,9 mil ao ano. (IBÁ, 2015). O aumento da demanda da celulose nacional por outros países está atrelado a sua alta qualidade e volume produzido, o que provoca aumento das exportações de produtos florestais (SOARES et al., 2010).

O principal fator limitante de um cultivo florestal de *Eucalyptus* spp., de alto desempenho, está relacionado ao plantio de mudas de qualidade, que além de serem capazes de sobreviver nas adversidades impostas no campo, como déficit hídrico e baixa fertilidade, possam produzir árvores com volume de madeira nos padrões desejados (GOMES et al., 1991; GOMES et al., 2002). O desempenho no campo é maior, à medida que as dimensões da muda produzida forem maiores na ocasião do plantio (BARNETT, 1983; BARROSO et al., 2000). O padrão desejado para cada espécie arbórea é variado, mas o objetivo sempre é a obtenção de mudas vigorosas, com folhas de tamanho e coloração características da espécie e bom estado nutricional (CARNEIRO, 1995; CRUZ et al., 2006).

2.2 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES

O Brasil tem se consolidado como uma potência agrícola mundial, quebrando anualmente recordes de produtividade e aumentando gradativamente sua produção de grãos e produtos madeireiros. No entanto, a agricultura brasileira, segundo dados da AMA (2019) importa 55% do fósforo, 65% do nitrogênio e 96% do potássio que necessita na agricultura, demonstrando uma enorme dependência de fontes de nutrientes de outros países. O custo com a manutenção da fertilidade dos solos tem se mostrado crescente nos últimos anos.

A adubação orgânica tem se mostrado com uma prática vantajosa em cultivos florestais, e o uso de lodo (biossólidos e efluentes) representa uma alternativa promissora, para que a produtividade possa ser aumentada com custos baixos (PELLISSARI et al., 2009), como fonte alternativa para a produção das mudas na forma de substratos ou fertilizantes, ou no uso após o

transplante. Nesse sentido, a suinocultura representa uma grande fonte geradora de resíduos, cujas suas águas residuárias são produzidas em grande volume tendo em vista que se considera a produção de 5 a 10 L de dejetos por suíno⁻¹ dia⁻¹ (MATOS, 2007). Entretanto, geralmente, os dejetos de suínos são utilizados nos cultivos em seu estado líquido, possuindo baixa concentração de nutrientes, em decorrência do uso excessivo de água na limpeza das instalações (ORRICO JUNIOR et al., 2009). Dessa forma, há uma grande necessidade por tecnologias que permitam o melhor aproveitamento desses resíduos em locais afastados da fonte geradora e que sejam capazes de aumentar a concentração de nutrientes no fertilizante produzido (KUNZ et al., 2005).

Uma das alternativas para reciclar esse dejetos é usá-lo como fertilizante, já que os nutrientes nele contidos após mineralizados, são disponibilizados à absorção pelas plantas. (BATISTA et al., 2014). Os dejetos de suínos contém matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos na dieta dos animais, que quando aplicados sem técnicas e manejo adequados podem provocar impactos negativos nos cultivos, podendo ainda se tornar poluentes do ambiente de produção (DIESEL et al., 2002).

Outra forma utilizada para a concentração de nutrientes nos dejetos é a realização da compostagem da sua fração sólida (RICO et al., 2006). Em estações de tratamento dos dejetos para tornar mais eficiente o tratamento anaeróbico de suas águas, há a necessidade de separação da fração sólida que apresenta menor área de superfície de contato o que torna mais difícil a sua decomposição por compostagem aeróbica (OLIVEIRA, 2004; SANTOS et al., 2014). Pra et al. (2008), descrevem um outro sistema de compostagem que dispensa a separação da fração sólida, onde o dejetos líquido é incorporado a substratos (maravalha, serragem, ou cama de aviário), e apresentou significativa redução do volume final do dejetos, além do aumento no percentual de matéria seca do composto.

Como alternativa para a redução do volume das águas residuais da suinocultura, tem sido proposta a granulação desses resíduos com a adição de fertilizantes minerais (superfosfato simples-SFS e fosfato mono amônico-MAP) e remineralizadores do solo (BENITES et al., 2010). Em trabalho realizado por Lima et al. (2009) com a adição de gnaise, serpentinito e micaxisto em compostagem de resíduos, verificou-se incrementos expressivos na disponibilização dos nutrientes em relação a não adição destes materiais, atribuindo-se estes resultados a ação dos microrganismos do solo.

A oportunidade de produção de fertilizantes organominerais como alternativa para o aproveitamento dos resíduos de suínos e aves tem aumentado no Brasil, com o emprego de técnicas de compostagem ou tratamento físico (secagem e trituração do resíduo) e enriquecimento com fertilizantes minerais (BENITES et al., 2013). Em trabalho conduzido por Da Silva et al. (2012) com utilização de remineralizadores do solo e esterco bovino para produção de mudas de *E. benthamii*, verificou-se a aceleração da liberação dos minerais da rocha, promovendo elevação do pH do solo, teores de Mg, Si para o solo e K para a planta.

Os fertilizantes organominerais são empregados principalmente no setor de olericultura, fruticultura e floricultura, com resultados significativos na produção, devido a longa duração ou sucessão de cultivos nessas áreas (ABISSOLO, 2010). Contudo, pouco se sabe sobre seu efeito nas espécies florestais. O uso de diferentes fontes de remineralizadores, associados com a adubação orgânica e mineral tem demonstrado efeito significativo para a produção de espécies que exploram o solo em longa duração (SOUZA et al., 2016).

Os chamados remineralizadores do solo, são compostos obtidos em grande parte pela moagem de rochas silicatadas que contém a maioria dos nutrientes necessários para o crescimento vegetal. Entretanto, não há na literatura consenso sobre a sua eficiência, devido a lenta solubilização dos minerais dessas rochas (HARLEY & GILKES, 2000; CARVALHO, 2012, SOUZA et al., 2016). Os pós de rochas vêm sendo estudados como fonte de baixo custo de nutrientes para a mineralização desses resíduos orgânicos e conforme dados da Instrução Normativa N° 5 (MAPA, 2016), podem ser empregados como remineralizadores do solo, com grande potencial para recuperação de solos degradados por erosão e lixiviação de nutrientes pelo fator de intemperização lenta de seus minerais.

A liberação dos nutrientes presentes nos remineralizadores está associada à sua maior área superficial específica, devido a sua moagem e minerais primários comporta-se como a fração silte do solo, o que gera uma grande instabilidade no solo, podendo disponibilizar seus nutrientes em diferentes prazos, entretanto a curto prazo a liberação dos nutrientes é mais influenciada pela natureza de seus minerais, do que pela sua granulometria (PRATES et al., 2012). Desse modo, o uso de remineralizadores e fosfatos naturais apresentam efeito fertilizante a longo prazo, o que permite bons resultados em cultivos perenes ou superiores a um ano (MOREIRA et al., 2002).

2.3 FUNGOS MICORRIZICOS

As micorrizas são associações simbióticas mutualísticas de fungos do solo com inúmeras plantas vasculares (BRUNDRETT et al., 1996). As micorrizas mais pesquisadas pertencem ao grupo das ectomicorrizas (fECM) e as micorrizas arbusculares (fMAs), mas são classificadas em 7 grupos distintos: Arbusculares; Ectomicorrizas; Ectendomicorrizas; Arbutoides; Monotropoides; Ericoides; e Orquidoides (SMITHO & READ, 1997). As micorrizas arbusculares estão presentes em 80% das espécies vegetais, onde o fungo coloniza células do córtex inter e intracelularmente, formando os arbúsculos, estruturas intra-radulares altamente ramificadas e típicas dos fMAs (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Os fungos ectomicorrízicos são um grupo variado de indivíduos na sua maioria do filo Basidiomycota e demais filas Ascomycota, Zigomicota e Deutoromycota (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Esses indivíduos são predominantes em espécies florestais, como a família das Pinaceae, Fagaceae, e Myrtaceae, que podem variar quanto a especificidade dos hospedeiros e eficiência da associação (SILVA et al., 2007), entretanto no Brasil os levantamentos com esses fungos são recentes, havendo, portanto, a necessidade de identificar esse recurso genético e seu papel nas florestas nativas e cerrado e a formação de cultivos florestais (COSTA et al., 2003). Segundo trabalhos conduzidos por Weirich (2013) o *E. grandis* apresenta-se favorável a associação com isolados de fungos ectomicorrízicos do gênero *Pisolithus*.

Os microrganismos do solo possuem um papel fundamental na aquisição de nutrientes pelas plantas e reciclagem de resíduos no solo, e dentre os organismos do solo as micorrizas se destacam, já que os fungos micorrizicos ao se associarem ao sistema radicular da planta favorecem a absorção de nutrientes através do micélio extra-radicular, juntamente com a excreção de ácidos orgânicos e enzimas que favorecem a solubilização de minerais do solo (JENTSCHLE et al., 2000; WALLANDER, 2000, SERRÃO et al., 2007). Destacam-se também pela associação simbiótica mutualística com várias espécies vegetais, a qual contribui para o desenvolvimento da planta fornecendo água e nutrientes em troca de fotoassimilados da planta (RODRIGUES et al., 2018). Os fungos micorrizicos estão relacionados também a capacidade de conferir resistência das plantas ao ataque de patógenos do solo e a retenção de elementos que se encontram em níveis tóxicos em seu micélio (SOARES et al. 2007; SOUZA et al. 2012; SCHIAVO et al. 2010).

O *Eucalyptus* possui uma sucessão no tipo de colonização micorrizica, sendo inicialmente colonizados por fMAs e posteriormente por fECM, o que leva a necessidade de as

mudas dessa espécie conterem inóculos desde suas fases iniciais (MELLO et al., 2006; STEFFEN et al., 2010).

A micorrização de mudas florestais tem se mostrado promissora, entretanto, ainda necessita de estudos prévios para identificar as melhores combinações do fungo com o hospedeiro e o efeito do ambiente sobre os mesmos (MELLO et al., 2008). Segundo Steffen et al. (2010), as mudas de eucalipto produzidas em viveiros comerciais apresentam colonização por micorrizas nativas, oriundas do substrato e/ou sementes, as quais podem apresentar pouca eficiência simbiótica. O chamado controle da micorrização está atrelado ao desenvolvimento de metodologias que permitam a produção de inoculantes micorrízicos em grande escala (GARBAYE, 1990), as quais dependem de técnicas para o isolamento de fungos eficientes na produção vegetal e a multiplicação desse material fúngico, considerado o fator mais crítico no desenvolvimento de produtos comerciais (MOLINA & PALMER, 1982; VARNA, 1998).

O inoculante micorrízico além de conter o isolado específico para a espécie a ser cultivada, deve apresentar condições apropriadas para o fungo resistir às condições de estresse físico, químico e biológicos envolvidos na produção, transporte e armazenamento do inóculo, e das impostas pelo substrato ou solo para a produção das mudas (SMITH & READ, 1997; OLIVEIRA, 2004). Para os fungos ectomicorrízicos as formas de produção se concentram na produção de esporos e no inoculante vegetativo. Para a obtenção dos esporos é necessária a produção de culturas monocarióticas que permitam a emissão de estruturas de reprodução sexuada, sendo uma prática de difícil execução e complexidade (CARVALHO et al, 1997). O inoculante vegetativo é constituído de micélio de um isolado puro, o qual já foi testado na sua infectividade e eficiência agrônômica, produzido em mistura de vermiculita, turfa e meio de cultura (MARX et al., 1982; GIOMARIO et al., 2005), incubadas com sistema que permite a aeração controlada do substrato (ALVES et al., 2001). Esse tipo de inoculante permite a proteção do micélio entre as lâminas de vermiculita, e a turfa mantém o mesmo sempre úmido, o que garante a sobrevivência do mesmo até seu uso a campo e emissão de raízes receptoras pelas plantas (GARBAYE, 1990; SMITH & READ, 1997).

Outra técnica utilizada para produção de inóculo de ectomicorrizas com resultados promissores, é a multiplicação de propágulos vegetativos dos fungos ectomicorrízicos em biorreatores, em cultivo submerso com transporte aéreo (*airlift*) (ROSSI, 2006). Após o período de fermentação em meio de cultura líquido, os micélios são imobilizados em gel de Alginato de Cálcio, o que permite a formação de grânulos que encapsulam o micélio e o mantêm viável por períodos superiores a 18 meses, (OLIVEIRA, 2004; OLIVEIRA et al., 2006). Entretanto

essa técnica demanda de grande investimento em equipamentos e processos tecnológicos e conforme Souza (2011) a necessidade da inoculação para desenvolver uma rápida colonização das raízes deve ser realizada na produção de mudas no viveiro, o que oneraria muito seus custos de produção, com o emprego desta tecnologia (BERUDE et al., 2015).

3. CAPÍTULO I – FUNGOS MICORRIZICOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. CULTIVADAS COM FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS REMINERALIZADORES DO SOLO

3.1 RESUMO

O desempenho de um cultivo florestal parte do plantio de mudas de qualidade, vigorosas e capazes de se adaptarem bem às condições adversas do campo. O uso de substratos alternativos e a inoculação de fungos micorrízicos, que apresentam efeitos benéficos às mudas melhorando a absorção de nutrientes, poderá possibilitar um adequado desenvolvimento, mesmo em substratos com baixa disponibilidade de nutrientes. O trabalho objetivou selecionar micorrizas para a produção de mudas de *E. grandis* cultivadas com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores do solo. O experimento, em delineamento inteiramente casualizado, foi realizado em fatorial (4x6) com 4 fertilizantes organominerais remineralizadores (fertilizante mineral – FM, fertilizante organomineral – FOM, fertilizante organomineral remineralizador – FOMREMS e testemunha - sem fertilização), com 6 isolados de fungos micorrízicos (UFSC-PT116 – *Pisolithus microcarpus*, UFSC-SU118 – *Suillus cothurnatus*, UFSC-PT132 – *Pisolithus tinctorius*, *Acaulospora colombiana* (*A. colombiana*), *Rizophagus clarus* (*R. clarus*), *Dentiscutata eterogama* (*D. eterogama*). Aos 90 dias após o transplante (DAT) foram avaliados a altura de plantas, diâmetro do colo, número de folhas, área foliar, massa seca das folhas, massa seca do caule, massa seca da parte aérea, massa seca radicular, massa seca total, índices de clorofila a, b e total, a relação altura diâmetro (H/D), altura da massa seca da parte aérea (H/MSPA), índice de qualidade de Dickson (IQD) e o percentual de colonização radicular. Os fertilizantes orgânicos (FOM e FOMREMS) possibilitam resultados equivalentes ao fertilizante mineral (FM) no crescimento em altura, diâmetro de colo e número de folhas, massa seca de folhas e volume radicular de mudas de *E. grandis*. O isolado UFSC-PT116 apresenta percentual de colonização de raízes superior aos demais, enquanto que o UFSC-SU118 possibilitou altura de plantas e índice de clorofila b superior aos demais isolados.

Palavras-chave: Adubo orgânico. Micorrizas arbusculares. Ectomicorrizas. Eucalipto.

3.2 ABSTRACT

The performance of a forest cultivation starts from the planting of quality seedlings, vigorous and capable of adapting well to the adverse conditions of the field. The use of alternative substrates and the inoculation of mycorrhizal fungi, which have beneficial effects on the seedlings by improving the absorption of nutrients, may allow an adequate development, even on substrates with low availability of nutrients. The work aimed to select mycorrhizae for the production of *E. grandis* seedlings grown with different organomineral fertilizers remineralizing the soil. The experiment, in a completely randomized design, was carried out in a factorial (4x6) with 4 remineralizing organomineral fertilizers (mineral fertilizer - FM, organomineral fertilizer - FOM, remineralizing organomineral fertilizer - FOMREMS and control - without fertilization), with 6 mycorrhizal fungi isolates (UFSC-PT116 - *Pisolithus microcarpus*, UFSC-SU118 - *Suillus cothurnatus*, UFSC-PT132 - *Pisolithus tinctorius*, *Acaulospora colombiana* (*A. colombiana*), *Rizophagus clarus* (*R. clarus*), *Dentiscutata eterogama* (*D. eterogama*). transplantation (DAT) plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, leaf dry matter, stem dry matter, shoot dry matter, root dry matter, total dry matter, chlorophyll indexes were evaluated a, b and total, the height-to-diameter ratio (H / D),

height of the dry mass of the aerial part (H / MSPA), Dickson's quality index (IQD) and the percentage of root colonization. Organic fertilizers (FOM and FOMREMS) provide results equivalent to mineral fertilizer (FM) in growth in height, stem diameter and number of leaves, dry leaf mass and root volume of *E. grandis* seedlings. The UFSC – PT116 isolate shows a higher percentage of root colonization than the others, while UFSC-SU118 allowed plant height and chlorophyll b index higher than the other isolates.

Keywords: Organic fertilizer. Arbuscular mycorrhiza. Etomycorrhiza. Eucalyptus.

3.3 INTRODUÇÃO

O êxito na formação de um cultivo florestal de alto desempenho parte do plantio de mudas de qualidade, que além de serem capazes de sobreviver às adversidades impostas no campo, possam ser capazes de produzir árvores com volume de madeira economicamente desejável (GOMES et al., 1991; GOMES et al., 2002). O emprego de mudas de qualidade possibilitará a redução de tratos culturais com replantio e manutenção de invasoras. O padrão de qualidade de cada espécie arbórea é variado, sendo que o objetivo é a obtenção de mudas vigorosas, com folhas de tamanho e coloração características da espécie e bom estado nutricional (CARNEIRO, 1995; CRUZ et al., 2006).

Vários fatores afetam a qualidade das mudas, como a qualidade da semente, tipo de recipiente, substratos, nutrição e manejo geral, sendo a nutrição e os substratos os que carecem de maiores estudos, devido à grande diversidade de plantas cultivadas (GONÇALVES & PASSOS, 2000; SIMÕES et al., 2012). Como fonte alternativa para a produção das mudas, tem-se utilizado diversos resíduos orgânicos como fertilizantes ou na forma de substratos. Nesse sentido, as águas residuárias da suinocultura são geradas em grandes quantidades pelo setor suinícola, cuja quantidade produzida gira em torno de 5 a 10 L suíno⁻¹ dia⁻¹ (MATOS, 2007), e a sua utilização como fertilizante, pode ser uma das alternativas para reciclar esse dejetos, já que os nutrientes nele contidos após serem mineralizados, são disponibilizados à absorção pelas plantas (BATISTA et al., 2014). Os dejetos de suínos contêm matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos na dieta dos animais, nutrientes esses que quando aplicados sem técnicas e manejo adequados podem provocar impactos negativos nos cultivos vegetais, podendo ainda tornar-se poluentes do ambiente de produção (DIESEL et al., 2002).

Como uma das alternativas para a redução do volume das águas residuais da suinocultura, tem sido proposta a granulação desses resíduos com a adição de fertilizantes minerais (superfosfato simples-SFS e fosfato mono amônico-MAP) e remineralizadores do solo

(BENITES et al., 2010). Os chamados remineralizadores do solo, são compostos na sua maioria pela moagem de rochas silicatadas, que contém a maioria dos nutrientes necessários para o crescimento vegetal, entretanto não há na literatura consenso sobre a sua eficiência, devido a lenta solubilização dos minerais dessas rochas (HARLEY & GILKES, 2000; CARVALHO, 2012). Em trabalho realizado por Lima et al. (2009) com a adição de gnaïsse, serpentinito e micaxisto em compostagem de resíduos, verificou-se incrementos expressivos na disponibilização dos nutrientes em relação a não adição destes materiais, atribuindo-se estes resultados a ação dos microrganismos do solo. Os fertilizantes organominerais são empregados principalmente no setor de olericultura, fruticultura e floricultura, com resultados significativos na produção, devido a longa duração ou sucessão de cultivos nessas áreas (ABISSOLO, 2010). Contudo, pouco se sabe sobre seu efeito nas espécies florestais.

O Brasil, com suas condições edafoclimáticas favoráveis aos cultivos silvícolas, se projeta mundialmente com o maior programa de florestamento do mundo como fonte de matéria prima para a siderurgia (LUCENA et al., 2011), utilizando principalmente o plantio de arvores do gênero *Pinnus* e *Eucalyptus*, os quais apresentam grande dependência de associação micorrízica para seu estabelecimento em condições adversas de campo, como subfertilidade e déficit hídrico (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). As diversas espécies do gênero *Eucalyptus* possuem uma sucessão no tipo de colonização micorrízica, sendo inicialmente colonizados por fungos micorrízicos arbusculares (fMAs) e posteriormente por fungos ectomicorrízicos (fECM), o que leva a necessidade de que as mudas dessas espécies contenham inóculos desde suas fases iniciais (OLIVEIRA & GIACHINI, 1999; STEFFEN et al., 2010). Desse modo, é interessante a seleção de inóculos micorrízicos que possibilitem ganhos na produção de mudas de eucalipto ao utilizar-se fertilizantes orgânicos remineralizantes do solo.

A hipótese deste trabalho é que a utilização de inóculo micorrízico independe da composição do fertilizante organomineral remineralizador do solo para produção de mudas de *E. grandis*. Neste trabalho objetivou-se realizar a seleção de micorrizas para a formação de mudas de *E. grandis* cultivadas com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores do solo, destinadas ao transplante a campo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Local

O Experimento foi conduzido em ambiente protegido, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen entre os meses de outubro de 2019 e janeiro de 2020, durante 90 dias.

O solo utilizado no experimento foi caracterizado como um Latossolo Vermelho, coletado em área de produção agrícola na camada de 0-20 cm, com textura de 70% de argila. Porém, o substrato para a condução do experimento foi produzido artificialmente, a partir do solo original com a adição de areia média na proporção de 50% (v/v), para obter textura aproximada de 35% de argila. Após esta mistura foi retirada uma amostra deste substrato para determinação de atributos químicos e físicos (Tabela 1), conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997) para textura e Tedesco et al. (1995) para demais atributos. Na sequência foi realizada a correção do solo como calcário dolomítico (PRNT 100%), para elevar a saturação de bases para 40%, conforme recomendação para cultura do Eucalipto (SBCS, 2016).

Tabela 1 – Análise química e física do substrato (solo + areia) utilizado para implantação do experimento com *Eucalyptus grandis*.

Solo	-----Atributo-----									
	Argila*	pH _{água}	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al+H	Sat Bases	Sat Al
	%	1:1	%	--mg dm ⁻³ --		---Cmol _c dm ⁻³ ---			-----%-----	
Solo + Areia	34%	6,7	0,52	4,46	21,6	1,4	0,56	3,0	40,1	0,0

*Argila determinado pelo método da pipeta, Embrapa (1997). Fonte: Autor (2020)

A mistura do solo com a areia teve como finalidade facilitar o trabalho com as plantas, como a lavagem das raízes. O solo+areia foi mantido com irrigações diárias, pelo período de 30 dias, a fim de estabilizar as suas características físico-químicas. Após esse período foi esterilizado em autoclave a 121°C, em 3 ciclos de 30 minutos.

3.4.2 Delineamento

O delineamento utilizado foi o Inteiramente Casualizado em arranjo fatorial (4x6), sendo quatro fertilizantes (fertilizante mineral (FM), fertilizante organomineral (FOM), fertilizante organomineral remineralizador (FOREMS) e testemunha (TEST) sem adubação), e seis inóculos de fungos micorrízicos (UFSC-PT116 – *Pisolithus microcarpus*, UFSC-SU118 – *Suillus cothurnatus*, UFSC-PT132 – *Pisolithus tinctorius*, *Acaulospora colombiana* (*A. colombiana*), *Rizophagus clarus* (*R. clarus*), *Dentiscutata eterogama* (*D. eterogama*)), com 5 repetições.

Os fertilizantes orgânicos FOM e FOREMS foram formulados para as necessidades da cultura do Eucalipto (SBCS, 2016), sendo utilizado para a sua adequação fertilizantes minerais simples (superfosfato triplo – SFT, cloreto de potássio – KCl e uréia) e de substância inerte para o enchimento (areia lavada).

O Fertilizante orgânico (FOM) e a sua posterior adição ao Fertilizante Organomineral Remineralizador (FOMREMS), teve em sua composição a fração sólida das águas residuárias de suinocultura. Essa fração sólida foi adquirida juntamente a estação de tratamento pertencente ao grupo de pesquisa, no setor de suinocultura do campus. Na estação, o dejetos é armazenado em tanques fechados, sendo posteriormente adicionados produtos que promovem a precipitação dos sólidos (dados não publicados), os quais foram secos em temperatura ambiente e posteriormente triturados. Para a fabricação dos fertilizantes com composição de remineralizador, foi utilizado o produto proveniente da empresa Alessi Mineração®, de Frederico Westphalen, composto pela moagem de rochas de origem basáltica e fosfatos naturais. Na Tabela 2 pode ser verificada a proporção de nutrientes aplicados em função dos componentes utilizados para a formulação dos diferentes tipos de fertilizantes (o processo tecnológico dos presentes fertilizantes encontra-se em processo de registro de patente).

O fungo ectomicorrízico UFSC-PT116 foi obtido na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O material foi multiplicado por 30 dias em meio de cultura sólido MNM (Merlin-Norkrans Modificado) (MARX, 1969), em placas de Petri, incubadas em BOD a 25°C. Já os isolados de FMAs foram oriundos da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG) do Laboratório de Micorrizas da Universidade Regional de Blumenau – SC (FURB).

Tabela 2 – Proporção de nutrientes aplicados ao substrato (solo+areia) em função dos componentes utilizados para a formulação dos diferentes tipos de fertilizantes.

Nutriente	Fonte	Fertilizante ¹		
		FM ²	FOM	FOMREMS
----- Proporção de nutrientes (%) -----				
Nitrogênio	Ureia	100%	50,2%	75,3%
	Fertilizante Orgânico ³	---	49,8%	24,7%
	Remineralizador	---	---	---
Fosforo	Superfosfato triplo (SFT)	100%	84,1%	91,2%
	Fertilizante Orgânico	---	15,9%	7,9%
	Remineralizador	---	---	0,9%
Potássio	Cloreto de potássio (KCl)	100%	98,3%	94,9%
	Fertilizante Orgânico	---	1,7%	0,8%
	Remineralizador	---	---	4,2%
Fórmula NPK		6-18-18	3-9-9	3-9-9

¹O processo tecnológico dos presentes fertilizantes encontra-se em processo de registro de patente; ²FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. ³Fertilizante orgânico (fração sólida de águas residuárias de suinocultura); Remineralizador: remineralizador do solo (pó de rocha). Fonte: Autor (2020)

3.4.3 Instalação e condução do experimento

As sementes da espécie de *Eucalyptus grandis* utilizadas no experimento foram fornecidas pela Fundação de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (FEPAGRO), centro de pesquisa em florestas (Santa Maria – RS). As sementes foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 5% por 20 min e lavadas em água corrente por 5 minutos, semeadas em bandejas de poliestireno, com células de 15,5 mL, em substrato comercial Carolina Soil® esterilizado em autoclave a 121°C em 3 ciclos de 30 minutos. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas sob irrigação, utilizando-se água destilada para evitar contaminação, até a emergência das plântulas e posterior raleio (1 planta por célula da bandeja).

Quando as mudas atingiram 1 par de folhas definitivas (cerca de 5 cm) foi realizado o transplante para vasos de polietileno de 1 L, sendo considerado uma unidade experimental (UE). Os fertilizantes estudados foram incorporados ao substrato do vaso antes do transplante das mudas, a quantidade de fertilizante usada foi conforme as recomendações do manual da SBCS (2016) para a população de 10.000 plantas de Eucalipto ha⁻¹.

No momento do transplante foi realizada a inoculação com os FECM e FMA. O inóculo para os fungos ectomicorrízicos foi preparado em liquidificador, no qual 10 placas de Petri contendo 21 colônias forma trituradas em 500 mL de água destilada por 10 segundos. Para a inoculação foi aplicado 10 mL dessa solução, com uma seringa graduada, diretamente nas raízes das mudas e no solo em contato com as raízes no momento do plantio. Os isolados de FMA foram inoculados com a adição de 30 esporos de cada isolado, por vaso. Os tratamentos contendo FMA também receberam 10 mL de uma solução contendo somente o meio de cultura MNM, afim de eliminar o efeito nutricional do meio sobre os tratamentos.

O experimento foi conduzido por 90 dias após o transplante (DAT) das mudas. Durante esse período foram realizadas irrigações diárias, com o uso de um regador plástico com capacidade de 5 litros, mantendo-se a umidade do solo em torno de 70-80% da capacidade de campo, por meio da pesagem dos vasos. Para atender as exigências do delineamento experimental, semanalmente foi realizado o rodízio das UEs.

3.4.4 Avaliação morfológica

Ao final do experimento (90 DAT) foram determinados os seguintes parâmetros: a altura da parte aérea (H), com régua graduada da base do solo até a última folha expandida do ramo principal; o diâmetro do colo (DC), com paquímetro digital (marca Black Jack Tools®); número de folhas (NF); a parte aérea foi desagregada e submetida a secagem em estufa de ventilação forçada a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ até a massa constante (pesadas em balança analítica), fornecendo leituras da massa seca de folhas (MS Folhas), de caule (MS Caule), a soma da massa seca das folhas e do caule (massa seca da parte aérea – MSPA), e a massa seca do sistema radicular (MSR). A massa seca total (MST) foi obtida pela soma das MSR e MSPA.

Com base nos parâmetros acima listados, foram calculados três índices de qualidade de mudas: A relação altura/diâmetro (H/D), também conhecida como índice de robustez; relação altura/massa seca parte aérea (H/MSPA); e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960). O IQD foi determinado a partir da seguinte fórmula:
$$\text{IQD} = \frac{\text{MST}_{(g)}}{((\text{H}_{(\text{cm})}/\text{D}_{(\text{mm})})+(\text{MSPA}_{(g)}/\text{MSR}_{(g)})}$$

As raízes foram separadas do solo por meio de lavagem com água corrente usando peneiras com malha de 0,5 mm. Após a lavagem das raízes foi determinado o volume radicular (VR), pelo método de deslocamento de água na proveta, adaptado da metodologia utilizada em

solos pela Embrapa (1997). A área foliar foi determinada pela metodologia de discos de área conhecida (BENINCASA, 1988).

3.4.6 Parâmetros da Clorofila

Foi determinado o índice relativo de clorofila (IRC) das folhas por meio de clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, Falker, Porto Alegre, modelo CFL 1030) (FALKER, 2008), que fornece instantaneamente resultados em unidades adimensionais chamados valores de IRC. O equipamento faz a leitura em 3 comprimentos de onda, dois emissores na faixa do vermelho (um próximo do pico de cada clorofila, a e b) e um emissor na faixa do infravermelho próximo, a combinação destes valores gera o IRC para cada clorofila e para clorofila total.

3.4.7 Associação Micorrizica

A Colonização micorrízica nas raízes foi avaliada por meio técnica de clarificação e coloração de raízes com Azul de Trypan 0,05%, para visualização de vesículas, arbúsculos ou hifas características, por vezes ligadas a esporos típicos, em plantas micorrizadas com FMA, e a presença de manto fúngico em raízes colonizadas com FECM, sob microscópio e lupa (BRUNDRETT et al., 1996). A porcentagem de colonização ectomicorrízica foi estimada em 5 repetições por planta pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980).

3.4.8 Análise estatística

A análise estatística teve como modelo matemático: $Y_{ijk} = m + a_i + d_j + (ad)_{ij} + e_{ijk}$, no qual: Y_{ijk} é uma observação do tratamento “nível i do fator A (fertilizantes) com o nível j do fator D (micorrizas)”; m é a média geral do experimento, a_i é o efeito do nível i do fator A; d_j é o efeito do nível j do fator D; e_{ij} é o efeito aleatório do erro experimental.

Os resultados foram submetidos a análise de variância para identificar a interação entre os fatores, quando observada a significância foi realizado a comparação de médias para os fatores A e D pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade de erro, através do programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Avaliações morfológicas

Apenas a área foliar apresentou interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores de variação fertilizantes e inóculo (Tabela 3). A Área Foliar não apresentou diferença

(significativamente ($p \leq 0,05$) para os diferentes inóculos de fungos micorrízicos nos fertilizantes FOM e FM, sendo superiores aos demais fertilizantes. Para o FOMRENS os inóculos de micorrizas arbusculares (*A. colombiana*, *R. clarus* e *D. eterogama*) também possibilitaram ganho neste parâmetro. O aumento da área foliar das mudas durante sua formação mostra a habilidade da espécie em utilizar a radiação fotossintética e alocar os fotoassimilados em resposta a um ambiente (DIAS FILHO, 1997; SCALON et al., 2003), esse comportamento é observado para a *A. colombiana*, *R. clarus* e *D. eterogama* com o fertilizante FOMREMS, onde a associação e a utilização de fertilizante orgânico resultaram em plantas com área foliar superior.

Tabela 3 – Área Foliar (cm^2) de mudas de *Eucalyptus grandis* com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores do solo e a inoculação com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e UFSC-PT132.

Inoculação	Fertilizante			
	Testemunha ¹	FM	FOM	FOMRENS
	----- Área Foliar (cm^2) -----			
<i>A. colombiana</i>	53,35 Ab*	44,73 Bb	58,82 Ab	71,59 Aa
<i>R. clarus</i>	33,80 Bb	60,99 Aa	63,07 Aa	65,73 Aa
<i>D. eterogama</i>	59,06 Aa	58,50 Ba	47,91 Aa	59,77 Aa
UFSC-PT116	35,70 Bb	68,84 Aa	57,37 Aa	44,41 Bb
UFSC-SU118	41,30 Ba	59,50 Aa	59,64 Aa	53,36 Ba
UFSC-PT132	41,30 Bb	68,92 Aa	55,22 Ab	50,78 Bb
CV	21,50%			

¹Testemunha; FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 4 são apresentadas as médias para os efeitos simples da altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas, volume de raízes, massa seca de folhas, massa seca do caule, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes nas mudas de *Eucalyptus grandis* para os diferentes fertilizantes. A altura e o diâmetro de coleto das plantas apresentaram o mesmo comportamento, sendo significativamente maiores com a utilização dos fertilizantes orgânicos em relação a testemunha. A altura e o diâmetro são importantes variáveis para determinar a qualidade de mudas devido a sua fácil mensuração e correlação com a sobrevivência após o transplante a campo, além de não serem determinadas de forma destrutiva (GOMES et al., 2002; ELOY et al., 2013).

Tabela 4– Altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas, volume de raízes, massa seca de folhas (MS Folhas), massa seca do caule (MS Caule), massa seca da parte

aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR) das mudas de *Eucalyptus grandis*, cultivadas com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo.

Variável analisada	Fertilizante				CV
	Testemunha ¹	FM	FOM	FOMRENS	
Altura de Plantas (cm)	13,54 b*	19,96 a	21,32 a	22,31 a	36,23%
Diâmetro (mm)	1,20 b	1,74 a	2,21 a	1,94 a	38,78%
Nº Folhas	15,04 b	34,28 a	34,25 a	34,24 a	55,46%
Volume de Raízes (cm ³)	1,03 b	2,61 a	2,89 a	2,31 a	55,48%
MS Folhas (g)	1,13 b	1,26 a	1,32 a	1,34 a	14,19%
MS Caule (g)	1,18 a	1,24 a	0,95 a	1,25a	24,39%
MSPA (g)	2,32 b	2,50 a	2,42 b	2,58 a	11,74%
MSR (g)	0,29 a	0,33 a	0,20 b	0,19 b	49,65%

¹Testemunha; FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. * Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

O número de folhas, bem como a sua massa seca (MS folhas) apresentaram valores que não diferiram entre os fertilizantes orgânicos (FOM e FOMREMS) e FM, diferindo-se apenas da testemunha. A massa seca da parte aérea (MSPA) das mudas de *Eucalyptus grandis* foi superior nos tratamentos com FM e FOMREMS, indicando bom desenvolvimento das mudas, apesar de não ter ocorrido diferença para a massa seca de caule, como observado por Lopes et al., (2008) mudas com déficit de nutrientes apresentam aumento da relação folhas/caule para suprir suas necessidades de fotoassimilados, o que provoca uma realocação de nutrientes do caule para as folhas (FOM). O volume radicular foi similar entre os fertilizantes, diferindo apenas da testemunha. Apenas o FM foi superior aos demais na massa seca radicular (MSR) não diferindo da testemunha. O FM resultou em maior acúmulo de massa seca nas raízes de *Eucalyptus grandis* pelo efeito da boa nutrição das mudas e por consequência melhor acúmulo de fotoassimilados na parte aérea (LOPES et al., 2011), já a testemunha indicou o aumento da alocação de nutrientes para suas raízes como estímulo seu desenvolvimento radicular, possibilitando uma maior absorção de nutrientes do substrato (KORNODORFER et al, 1989; BOOT & MENSINK, 1990; LAVRES Jr. & MONTEIRO, 2003)

O número de folhas, volume de raízes, massa seca de folhas, massa seca da parte aérea e massa seca de raízes não apresentaram diferença significativa para os diferentes isolados DE fungos micorrízicos (tabela 5), porém a massa seca de caule foi significativamente menor com a utilização dos inóculos *A. colombiana* e *R. clarus*. Dutra et al. (2012) afirma que o acúmulo de fotoassimilados no caule é uma característica desejável e um indicativo de rustificação da muda para condições adversas no campo. A altura de plantas apresentou a maior média com a ectomicorríza UFSC-SU118, indicando efeito desse inóculo sobre o desenvolvimento das

mudas. Esse dado corrobora com o trabalho realizado por Andreazza et al (2011) com mudas de grábia, onde houve o aumento de altura com o uso de fungo do gênero *Suillus sp.*, sem que houvesse, entretanto, incrementos no acúmulo de massa seca na planta.

Tabela 5– Altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas, volume de raízes, massa seca de folhas (MS Folhas), massa seca do caule (MS Caule), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR) das mudas de *Eucalyptus grandis* inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e UFSC-PT132.

Inoculação	Altura de Plantas (cm)	Diâmetro (mm)	Nº Folhas	Volume de Raízes (cm ³)
<i>A. colombiana</i>	14,98 B*	1,48 A	25,57 A	1,94 A
<i>R. clarus</i>	19,78 B	1,63 A	26,05 A	1,77 A
<i>D. eterogama</i>	19,36 B	1,80 A	30,12 A	2,49 A
UFSC-PT116	20,47 B	2,10 A	32,70 A	2,56 A
UFSC-SU118	23,59 A	1,93 A	32,20 A	2,00 A
UFSC-PT132	17,86 B	1,77 A	30,44 A	2,57 A
CV	36,23%	38,78%	55,46%	55,48%
Inoculação	MS Folhas (g)	MS Caule (g)	MSPA (g)	MS Raízes (g)
<i>A. colombiana</i>	1,22 A	0,99 B	2,35 A	0,20 A
<i>R. clarus</i>	1,20 A	1,05 B	2,37 A	0,26 A
<i>D. eterogama</i>	1,27 A	1,14 A	2,48 A	0,25 A
UFSC-PT116	1,31 A	1,18 A	2,49 A	0,33 A
UFSC-SU118	1,32 A	1,28 A	2,58 A	0,22 A
UFSC-PT132	1,28 A	1,21 A	2,45 A	0,22 A
CV	14,19%	24,39%	11,74%	49,65%

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Autor (2020)

3.5.2 Índices de Qualidade de mudas

Os índices H/D e H/MSPA apresentaram interação significativa entre os fertilizantes e inóculos de fungos micorrízicos (tabela 6). Para a o índice H/D os fECM não apresentaram variação para os fertilizantes, exceto no isolado PT132 para o FM, onde o menor valor indicou a redução do índice. Para o isolado *A. colombiana* o índice foi maior na testemunha indicando mudas mais frágeis, já a relação altura/diâmetro (H/D) é o valor que exprime um equilíbrio do crescimento da planta, indicando a possível suscetibilidade da planta sofrer tombamento ou até mesmo quebra após o transplante no campo, sendo que Carneiro (2009) define os menores valores como os ideais, entretanto a literatura traz que os valores da relação H/D devem estar situados na faixa de 5,4 e 8,1 em qualquer momento da produção das mudas para indicar boa

qualidade (CARNEIRO, 1995; WEIRICH, 2013). Esses valores de referência não foram observados nesse trabalho, com índices foram superiores a 6,75.

Tabela 6 – Índices de qualidade relação altura diâmetro (H/D) e relação altura massa seca aérea (H/MSPA) de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivados com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo e a inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e UFSC-PT132.

Inoculação	Fertilizante			
	Testemunha ¹	FM	FOM	FOMRENS
	----- H/D -----			
<i>A. colombiana</i>	16,71 Aa*	9,15 Ab	6,75 Ab	16,71 Ab
<i>R. clarus</i>	12,72 Bb	8,72 Ab	17,26 Ab	12,72 Aa
<i>D. eterogama</i>	10,27 Ba	9,71 Aa	12,34 Aa	10,27 Aa
UFSC-PT116	9,10 Ba	13,38 Aa	10,12 Aa	9,10 Aa
UFSC-SU118	11,28 Ba	14,99 Aa	11,64 Aa	11,28 Aa
UFSC-PT132	13,54 Aa	5,21 Ab	11,26 Aa	13,54 Aa
CV			39,13%	
	----- H/MSPA -----			
<i>A. colombiana</i>	5,78 Aa	6,27 Ba	7,87 Aa	5,13 Ba
<i>R. clarus</i>	6,08 Ab	6,28 Bb	9,24 Aa	4,77 Bb
<i>D. eterogama</i>	6,36 Ab	5,29 Bb	8,66 Aa	9,57 Aa
UFSC-PT116	6,19 Aa	8,16 Ba	8,46 Aa	7,54 Aa
UFSC-SU118	6,63 Ab	11,85 Aa	7,98 Ab	9,03 Ab
UFSC-PT132	3,57 Ab	5,36 Bb	8,34 Aa	8,54 Aa
CV			30,60%	

¹Testemunha; FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

O índice de qualidade de mudas H/MSPA apresentou respostas distintas com a interação fertilizantes e inóculos de fungos micorrízicos, sendo maior para o fertilizante FM com o inóculo UFSC-SU118, para o fertilizante FOM com os demais inóculos e para o FOMRENS com o *D. eterogama*, UFSC-PT116 e UFSC-PT132 (Tabela 6). A relação H/MSPA representa o equilíbrio de crescimento de uma muda, indicando em apenas um índice a distribuição de massa pela planta, também conhecido como quociente de robustez, sendo o mais preciso para indicar a quanto “delgada” está uma muda, predizendo o potencial de sobrevivência da muda a campo (JOHNSON & CLINE, 1991; GOMES et al., 2002; CRUZ et al, 2006). Desse modo, o fertilizante FM com UFSC-SU118 por apresentar maior relação, indica um grande crescimento com baixo acúmulo de massa seca nos tecidos da planta, sugerindo a suscetibilidade das mudas a sofrerem estresse após o transplante a campo.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) (tabela 7) não apresentou interação significativa entre os fatores de variação, e não diferiu para cada fertilizante ou inoculo utilizado. Na obtenção desse índice considera-se os atributos morfológicos que expressam o equilíbrio da biomassa da planta, entre as massas secas aeras e radiculares, atributos dos quais depende a emissão de novas raízes (SILVA et al., 2011), para mudas florestais o IQD devem apresentar valores superiores a 0,20 (VIDAL et al., 2006). Na análise nenhuma das médias superou esse índice, sendo que trabalho conduzido por Gomes et al. (2002) com mudas de *E. grandis* de 120 dias, os valores de IQD também não se apresentaram superiores aos 0,20.

Tabela 7– Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo e inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, PT116; SU118, e PT132.

Variável analisada	Fertilizante				CV		
	Testemunha ¹	FM	FOM	FOMREMS			
IQD	0,14 a*	0,13 a	0,11 a	0,10 a	45,39%		
Variável analisada	Micorrizas					CV	
	AC ²	RC	DE	UFSC-PT116	UFSC-SU118		UFSC-PT132
IQD	0,10 a	0,11 a	0,13 a	0,15a	0,10 a	0,11 a	45,39%

¹Testemunha; FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. ² AC= *A. colombiana*; RC= *R. clarus*, DE= *D. etrogama* * Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

3.5.3 Parâmetros da Clorofila

O índice de clorofila nas folhas das mudas de *Eucalyptus grandis* não diferiu entre os tratamentos com os fertilizantes FM, FOM e FOMREMS e os inóculos micorrízicos (Tabela 8). Na testemunha sem fertilizante o índice de clorofila foi inferior aos demais tratamentos com fertilizantes, com diferenças também entre os isolados fúngicos. A quantidade de pigmentos fotossintetizante é utilizada para estimar o potencial fotossintético das plantas, pela sua ligação direta com a absorção e transferência da energia luminosa ao crescimento vegetal (REGO & POSSAMAI, 2006), devido à baixa fertilidade natural do solo usado, os índices de clorofila das mudas com UFSC-PT132 e a *A. colombiana* foram inferiores as demais, indicando menor eficiência desses isolados no aumento dos pigmentos das plântulas para rustificá-las.

De um modo geral os resultados evidenciaram que a adição dos fertilizantes FM e FOM com os inóculos micorrízicos e do FOMRENS com as ectomicorrizas possibilitaram maior índice de clorofila total (Tabela 8). O teor de clorofila total pode ser usado para estimar o teor de nitrogênio foliar e produtividade de algumas espécies arbóreas (REIS et al., 2006), e maiores

teores de clorofila foram observados em cafeeiros, por Bonfim et al. (2010), relacionados a maior distribuição de fungos micorrízicos no sistema de cultivo.

Em relação aos diferentes fertilizantes, a clorofila total apresentou valores superiores nos tratamentos com FM e FOM para todos os isolados micorrízicos. O pigmento foi inferior na testemunha para a UFSC-PT132, *A. colombiana* e *R. clarus*, sendo que essas duas últimas também o foram no fertilizante FOMREMS.

Tabela 8– Índices de clorofila a, e clorofila total de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivados com diferentes fertilizantes organomineral remineralizadores do solo e inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, UFSC-PT116; UFSC-SU118, e USFC-PT132, obtidos com o clorofilometro digital (ClorofiLOG®, Falker CLF 1030).

Inoculação	Fertilizante			
	Testemunha ¹	FM	FOM	FOMRENS
-----Clorofila A -----				
<i>A. colombiana</i>	14,23 Cb*	39,53 Aa	39,22 Aa	32,80 Aa
<i>R. clarus</i>	28,63 Aa	40,27 Aa	38,28 Aa	35,50 Aa
<i>D. eterogama</i>	36,23 Aa	39,60 Aa	38,25 Aa	37,84 Aa
USFC-PT116	30,83 Ab	38,20 Aa	40,93 Aa	39,80 Aa
USFC-SU118	35,00 Aa	41,35 Aa	39,80 Aa	40,05 Aa
USFC-PT132	24,25 Bb	37,22 Aa	34,48 Aa	43,10 Aa
CV		20,72%		
-----Clorofila Total -----				
<i>A. colombiana</i>	18,60 Cc	52,59 Aa	48,46 Aa	39,25 Bb
<i>R. clarus</i>	35,20 Bb	54,31 Aa	48,72 Aa	45,25 Bb
<i>D. eterogama</i>	44,83 Aa	51,00 Aa	48,32 Aa	46,68 Ba
USFC-PT116	47,74 Aa	48,10 Aa	47,78 Aa	50,55 Aa
USFC-SU118	53,64 Aa	55,65 Aa	50,94 Aa	53,55 Aa
USFC-PT132	32,18 Bb	46,65 Aa	41,20 Aa	55,12 Aa
CV		16,40%		

¹Testemunha; FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

A clorofila b apresentou apenas efeito simples significativo para os fatores de variação, sendo que para os tratamentos com fertilizantes esse índice foi maior no FM, seguido pelo FOMREMS e o FOM, com o menor índice sendo observado na testemunha (Tabela 9). A clorofila b é um índice importante para indicar a capacidade de o limbo foliar em captar energia em outros comprimentos de onda e a transferirem para a clorofila a, representando um mecanismo de adaptação às condições de menor intensidade luminosa (SCALON et al., 2002). Para os tratamentos com os fertilizantes o índice de clorofila b foi maior para o FM, seguido pelo FOMREMS e pelo FOM (diferindo entre estes), e o menor índice foi observado na

testemunha, demonstrando que a melhor nutrição das plantas (fertilizante FM) favoreceu o aumento do pigmento, como observados por Trigueiro & Guerrini (2003) em trabalho com uso de bio-sólidos no substrato de mudas de eucalipto.

Tabela 9– Índice de clorofila b de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas com diferentes adubos organomineral remineralizadores do solo, e o índice de clorofila b para de mudas inoculadas com *A. colombiana*, *R. clarus*, *D. eterogama*, PT116; SU118, e PT132, obtidos com o clorofilometro digital (ClorofiLOG®, Falker CLF 1030).

Variável analisada	Fertilizante						CV
	Testemunha ¹	FM	FOM	FOMREMS			
Clorofila b	7,37 d*	12,00 a	9,33 c	10,22 b			30,48%
Variável analisada	Inoculação						CV
	AC ²	RC	DE	UFSC-PT116	UFSC-SU118	UFSC-PT132	
Clorofila b	8,41 c	10,03 b	9,73 b	10,10 b	12,00 a	8,11 c	30,48%

¹Testemunha; FM: fertilizante mineral; FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. ² AC= *A. colombiana*; RC= *R. clarus*, DE= *D. eterogama* * Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

A micorriza UFSC-SU118 apresentou os maiores índices de clorofila b, seguido pelas UFSC-PT116, *R. clarus* e *D. eterogama* (Tabela 9). Em trabalho realizado por Campos et al. (2017) o uso de ectomicorrizas do gênero *suillus sp.* resultou em maiores acúmulos de nitrogênio foliar, e esse nutriente está ligado diretamente aos teores de clorofila e carotenoides (ARGENTA et al., 2001; NOGUEIRA et al., 2013).

3.5.4 Colonização micorrízica

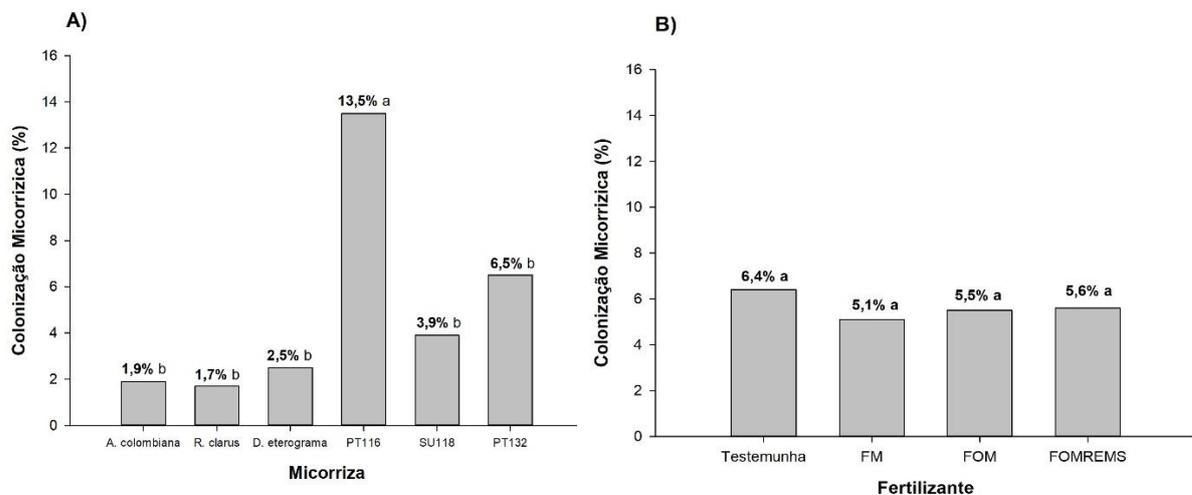
Não houve efeito da interação dos fertilizantes e dos isolados micorrízicos no percentual de colonização radicular. Para os diferentes fertilizantes utilizados não houve diferença significativa entre estes e a testemunha, no percentual de colonização radicular (Figura 1B). Fernandes et al. (1999) trabalhando com *E. grandis*, evidenciaram que fatores relacionados a fertilidade e potencial hídrico influenciam a colonização micorrízica, afetando-a com disponibilidade elevada de nutrientes no solo.

Os resultados apresentados na Figura 1A, demonstram que as micorrizas diferiram entre si no percentual de colonização das raízes. A ectomicorriza PT116 foi superior aos demais isolados, incluindo as demais ectomicorrizas (SU118 e PT132). As micorrizas arbusculares, *A. colombiana*, *R. clarus* e *D. eterogama*, apresentaram valores muito baixos de colonização radicular, demonstrando dificuldade de adaptabilidade entre o hospedeiro e o fungo. Conforme Graziotti et al. (1998) a intensidade da colonização das raízes de clones de eucalipto por fungos

micorrízicos é governada por um conjunto de fatores interligados, envolvendo a planta, o solo e o clima, tornando difícil a seleção de isolados eficientes.

Em trabalho realizado por Mello et al (2009) com uso de UFSC-PT116, os valores de colonização foram determinados na faixa de 13 a 18% aos 360 dias, mas na literatura há valores de colonização em *Eucalyptus sp* que variando de 4 a 42,3% para fECM e de 3,4 a 62,1% de FMAs em florestas já implantadas (CAMPOS et al., 2011), em outros a colonização varia de 10 a 96% para as diferentes espécies avaliadas (ARAUJO et al., 2004). Bellei & Carvalho (1990) ainda citam que há uma sucessão de fungos micorrízicos na colonização radicular, partindo de uma maior colonização por FMAs e depois de 1 anos, um predomínio por fECM, demonstrando que as relações de associação fungo-hospedeiro são bastante complexas e reguladas por vários fatores, e mesmo que o percentual de colonização seja baixo o efeito da micorriza pode ser significativo (ZANGARO et al., 2002).

Figura 1– Percentual de colonização micorrízica para fungo micorrízico (A) e fertilizante (B) utilizado na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*.



¹ medias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

3.6 CONCLUSÕES

O uso de fertilizantes orgânicos (fertilizante organomineral – FOM e fertilizante organomineral remineralizador – FOMREMS) possibilitam resultados equivalentes ao fertilizante mineral (FM) no crescimento em altura, diâmetro de colo, número de folhas, massa seca de folhas e volume radicular de mudas de *E. grandis*.

O isolado de fungo ectomicorrízicos *Pisolithus microcarpus* (UFSC–PT116) apresenta percentual de colonização de raízes superior aos demais isolados, enquanto que, o isolado *Suillus cothurnatus* (UFSC-SU118) possibilita altura de plantas e índice de clorofila b superiores aos demais isolados em mudas de *E. grandis*.

O efeito de cada isolado para os índices de qualidade H/D e H/MSPA de mudas apresenta dependência dos fertilizantes utilizados. O índice de qualidade de Dickson (IQD) não apresentou dependência dos fertilizantes e isolados micorrízicos.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABISOLO, 2010. **Plano Nacional de Biomassa**. 44^a Reunião da Câmara Temática de Insumos Agropecuários – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Palestra técnica, 16 novembro, 2009. Brasília-DF.
- ANDREAZZA, R. et al. Ectomicorrizas em grábia [*Apuleia leiocarpa* (Vogel) JF Macbride] e canafístula [*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert] in vitro. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 727-734, 2011.
- ARAÚJO, C. VM et al. Micorrizas arbuscular em plantações de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell no litoral norte da Bahia, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 18, n. 3, p. 513-520, 2004.
- ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.
- BATISTA, R. O., MARTINEZ, M. A., PAIVA, H. N. D., BATISTA, R. O., & CECON, P. R. O efeito da água residuárias da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 127-135, 2014.
- BELLEI, M.; CARVALHO, M. S. Ectomicorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N; TSAI, S. M.; NEVE, M. C. P. **Microbiologia do Solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 297-318.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: Noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.
- BENITES, V. D. M., CORREA, J. C., MENEZES, J. F. S., & POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: workshop internacional y taller nacional

valorización de residuos, oportunidad para la innovación, 2013, Pucón, Chile. Anais... Chile: CIDGRO, 2013., 2013

BONFIM, J. A. et al. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 201-206, 2010.

BOOT, R.G.A.; MENSINK, M. Size and morphology of root systems of perennial grasses from contrasting habitats as affected by nitrogen supply. **Plant and Soil**, v.129, n.2, p.291-299, 1990.

BRUNDRETT, M. C. **Mycorrhizal Associations**: the web resource. 2008. Disponível em: <mycorrhizas.info>. Acesso em: 12 fev. 2020.

CAMPOS, D. T. S. et al. Colonização micorrízica em plantios de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 965-974, 2011.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, A. D. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. 2012. 116p. 2012. Tese de **Doutorado**. Tese de doutorado-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CRUZ, C. A. F., PAIVA, H. N. D., & GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 537-546, 2006.

DE CAMPOS¹, R. F. F.; DE OLIVEIRA, L. P.; SCHVEITZER, B. Fitorremediação do cobre em mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrízicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 690-698, 2017.

DIAS-FILHO, M. B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 789-796, 1997.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Porto Alegre: Emater, 2002.

DUTRA, T. R., GRAZZIOTTI, P. H., SANTANA, R. C., & MASSAD, M. D. Desenvolvimento inicial de mudas de copaíba sob diferentes níveis de sombreamento e substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 321-329, 2012.

ELOY, E., CARON, B. O., SCHMIDT, D., BEHLING, A., SCHWERS, L., & ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

FALKER. A. AGRÍCOLA. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008

FERNANDES, M. F., RUIZ, H. A., NEVES, J. C. L., & MUCHOVEJ, R. M. C. Crescimento e absorção de fósforo em plantas de *Eucalyptus grandis* associadas a fungos micorrízicos em

diferentes doses de fósforo e potenciais de água do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.

FERREIRA, D. F. SISVAR - **Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2011.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v.84, n.3, p.489-500, 1980.

GOMES, J. M., COUTO, L., BORGES, R. C. G., & FONSECA, E. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em "Win-Strip". **Revista árvore**, v. 15, n. 1, p. 35-42, 1991.

GOMES, J. M., COUTO, L., LEITE, H. G., XAVIER, A., & GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GONÇALVES, M. R., & PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 145-161, 2000.

GRAZZIOTTI, P. H., BARROS, N. F., BORGES, A. C., NEVES, J. C. L., & FONSECA, S. Variação sazonal da colonização de raízes de clones de híbridos de eucalipto por fungos micorrízicos no estado do Espírito Santo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 22, n. 4, p. 613-619, 1998.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 11-36, 2000.

JOHNSON, J. D.; CLINE, P. M. **Seedling quality of southern pines**. In: DUREYA, M. L., DOUGHERTY, P. M. (Eds.). Forest regeneration manual. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 143-162.

KORNODORFER, G. H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1989.

LIMA, C C. MENDONÇA, E. S. SILVA, I. R. ROIG, L. HM. S. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral / Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel composto com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 13, n. 3, 2009, p. 334

LOPES, M. N.et al. Componentes estruturais do resíduo pós-corte em capim-massai adubado com cinco doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 518-525, 2011.

LOPES, R.; GASPAROTTO, L.; GARCIA, L.C.; GARCIA, M.V.B.; CARDOSO, M.O.; SOUSA, N.R. (2008) Crescimento, produção de matéria seca e relação folha/caule de plantas de Caapeba em função da aplicação adubo orgânico nas condições de Manaus - AM. In: IV Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Ocidental, 58 Documentos... Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 154 p.

LUCENA, L. P., NETO, F. J. K., MASSUIA, F. M., DE FREITAS, C. E. A demanda por carvão vegetal e suas consequências econômicas sobre o agronegócio do eucalipto no Brasil. **Revista de Estudos Sociais**, v. 13, n. 25, p. 158-172, 2014.

MARX, D. H. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. **Phytopathologist**, Saint Paul, v. 59, p. 153-163, 1969.

MATOS, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. **Viçosa, MG: AEAGRI**, v. 140, 2007. 142 p.

MELLO, A. H. de et al. Estabelecimento a campo de mudas de *Eucalyptus grandis* micorrizadas com *Pisolithus microcarpus* (UFSC Pt 116) em solo arenoso. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 149-155, 2009.

MORREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NOGUEIRA, N. O. et al. Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 390-395, 2013.

OLIVEIRA, V.L.; GIACHINI, A.J. Ecologia e aplicação de ectomicorrizas. In: Siqueira, J.O. (Coord.). Inter-relação fertilidade: **biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999, p.775-796.

REGO, G. M., & POSSAMAI, E. Efeito do Sombreamento sobre o Teor de Clorofila e Crescimento Inicial do Jequitibá-rosa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 53, p. 179, 2006.

REIS, A. R.; JUNIOR, E. F.; BUZZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v.65, p.163-171, 2006.

SCALON, S. D. P. Q. MUSSURY, R. M. RIGONI, M. R. SCALON FILHO, H. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 753-758, 2003.

SILVA, R. F. D., SAIDELLES, F. L. F., SILVA, A. S. D., & BOLZAN, J. S. Influência da contaminação do solo por cobre no crescimento e qualidade de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) e aroeira-vermelha (*Schinus therebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 111-118, 2011.

SIMÕES, D., DA SILVA, R. B. G., & DA SILVA, M. R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 91-100, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL. Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Manual de Calagem e Adubação para os Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre, 2016, 376p.

STEFFEN, R. B., ANTONIOLLI, Z. I., STEFFEN, G. P. K., & ECKHARDT, D. P. Micorrização das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden comercializadas no município de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 25-35, 2010

TEDESCO, M. J et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de solos da UFRGS. 1995.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrate para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 150-162, 2003.

VIDAL, L. H. I., SOUZA, J. R. P. D., FONSECA, É. D. P., & BORDIN, I. Qualidade de mudas de guaco produzidas por estaquia em casca de arroz carbonizada com vermicomposto. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 26-30, 2006.

ZANGARO, W. et al. Micorrizas arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi, Paraná. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 77-87, 2002.

4. CAPÍTULO II – FERTILIZANTE ORGANOMINERAL REMINERALIZADOR E ECTOMICORRIZA NO CRESCIMENTO DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

4.1 RESUMO

O manejo da cultura do eucalipto almeja por alternativas em adubação para promover a sua produção com menor uso de fertilizantes minerais. O fósforo (P) é um nutriente pouco disponível em solos brasileiros, limitante para o desenvolvimento do eucalipto. Alguns estudos vêm sendo realizados com o uso de remineralizadores do solo, águas residuárias da suinocultura e fungos ectomicorrízicos (fECM) para promover o suprimento de fósforo e o desenvolvimento de mudas de eucalipto de qualidade. O trabalho objetivou possibilitar a utilização de adubos organominerais remineralizadores do solo e ectomicorrização no crescimento de *Eucalyptus grandis*. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (4x2x2) com 4 fertilizantes organominerais remineralizadores (fertilizante mineral – FM, fertilizante remineralizador – FM+REMS, fertilizante organomineral – FOM, e fertilizante organomineral remineralizador – FOMREMS), 2 teores de fósforo no fertilizante (alto e baixo), com e sem micorrização das mudas com *Pisolithus microcarpus*. Aos 100 dias foram avaliados os parâmetros: altura de planta, diâmetro do coleto, número de folhas, área foliar, volume radicular, área superficial específica (ASE) de raízes, massa seca da parte aérea, do caule e radicular, nutrientes nos tecidos (N, P e K) aéreos e radiculares, Índices de clorofila a e total e percentual de colonização micorrízica. A formulação de fertilizantes com componentes orgânicos promove maior desenvolvimento das plantas de *E. grandis* após o transplante, e a micorrização com *Pisolithus microcarpus* foi eficiente para o aumento nos teores de fósforo nas raízes, principalmente em mudas cultivadas com fertilizantes remineralizadores.

Palavras-chave: *Pisolithus microcarpus*. Fertilizantes orgânicos. Eucalipto.

4.2 ABSTRACT

The management of the eucalyptus culture aims for alternatives in fertilization to promote its production with less use of mineral fertilizers. Phosphorus (P) is a nutrient little available in Brazilian soils, limiting the development of eucalyptus. Some studies have been carried out with the use of soil remineralizers, swine wastewater and ectomycorrhizal fungi (fECM) to promote the supply of phosphorus and the development of quality eucalyptus seedlings. The work aimed to enable the use of organomineral fertilizers remineralizing the soil and ectomycorrhization in the growth of *Eucalyptus grandis*. The experiment was carried out in a completely randomized design, in a factorial arrangement (4x2x2) with 4 remineralizing organomineral fertilizers (mineral fertilizer - FM, remineralizing fertilizer - FM + REMS, organomineral fertilizer - FOM, and remineralizing organomineral fertilizer - FOMREMS), 2 levels of phosphorus in fertilizer (high and low), with and without mycorrhization of seedlings with *Pisolithus microcarpus*. At 100 days, the parameters were evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, root volume, specific surface area (ASE) of roots, dry mass of shoot, stem and root, nutrients in tissues (N, P and K) aerial and root, Chlorophyll a indices and percentage of mycorrhizal colonization. The formulation of fertilizers with organic components promotes greater development of *E. grandis* plants after transplantation, and mycorrhization with *Pisolithus microcarpus* was efficient for increasing the levels of phosphorus in the roots, especially in seedlings grown with remineralizing fertilizers.

Keywords: *Pisolithus microcarpus*. Organic fertilizers. Eucalyptus

4.3 INTRODUÇÃO

O cultivo do Eucalipto já está consolidado como a principal espécie nos empreendimentos silvícolas do país, com mais de 5,6 milhões de hectares no ano de 2014 (ABRAF, 2016), sendo destinada para produção de papel e celulose, o que gera anualmente mais 11 milhões de toneladas em exportações (IBÁ, 2019). O gênero *Eucalyptus* pertence à família das Mirtáceas, sendo originário da Oceania, e atualmente é cultivado em diversos países do mundo (HASSE, 2006). No Brasil a principal espécie cultivada é a *E. grandis* com produtividade em média de 39 m³ por hectare/ano (EMBRAPA, 2014).

O plantio do Eucalipto no Brasil é destinado a áreas de solo degradados devido ao baixo investimento financeiro destinado para o seu cultivo. Desse modo, a produção silvícola nessas áreas fica comprometida, pois os solos originalmente são pobres em fertilidade, possuem elevada acidez e baixa capacidade de troca de cátions (BARROS & NOVAIS, 1996), limitando o desenvolvimento do eucalipto que é altamente exigente em nutrientes. Na maioria das florestas plantadas, o fósforo é o nutriente mais limitante ao crescimento, nas fases posteriores a implantação, devido provavelmente à sua baixa mobilidade no solo e alta adsorção aos oxihidroxidos de Fe e Al (SILVEIRA & GAVA, 2004).

Os microrganismos do solo têm um papel fundamental na aquisição de nutrientes pelas plantas. Dentre os organismos do solo, os fungos ectomicorrízicos ao se associarem ao sistema radicular da planta favorecem a absorção de nutrientes através do micélio extra-radicular, juntamente com a excreção de ácidos orgânicos e enzimas que favorecem a solubilização de minerais do solo (JENTSCHKE et al., 2000; WALLANDER, 2000). Os fungos ectomicorrízicos são um grupo variado de indivíduos na sua maioria do filo Basidiomycota e demais dos filas Ascomycota, Zigomicota e Deutoromycota (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Esses indivíduos são predominantes em espécies florestais, como a família das Pinaceae, Fagaceae, e Myrtaceae, que podem variar quanto a especificidade dos hospedeiros e eficiência da associação (SILVA et al., 2007). Segundo trabalhos conduzidos por Weirich (2013) o *E. grandis* apresenta-se favorável a associação com isolados de fungos ectomicorrízicos do gênero *Pisolithus*.

A adubação orgânica (e/ou mineral) é vantajosa em cultivos florestais, e o uso de lodo (biossólidos e efluentes) representa uma alternativa promissora, para que a produtividade possa ser aumentada com custos baixos (PELLISSARI et al., 2009). Nesse sentido, a suinocultura gera enormes quantidades de águas residuárias, considerando-se a produção de 5 a 10 L Suíno⁻¹ dia⁻¹

¹ (MATOS, 2007). Os dejetos de suínos são utilizados nos cultivos em seu estado líquido, possuindo baixa concentração de nutrientes, o que é influenciado pela baixa concentração de nutrientes pelo uso excessivo de água na limpeza das instalações (ORRICO JUNIOR et al., 2009), dessa forma, o grande desafio é gerar tecnologias que permitam o melhor aproveitamento desse resíduo da suinocultura, em locais afastados da fonte geradora, com aumento na concentração de nutrientes por unidade de fertilizante (KUNZ et al., 2005).

A oportunidade de produção de fertilizantes organominerais como alternativa para o aproveitamento dos resíduos de suínos e aves tem crescido no Brasil, com o emprego de técnicas de compostagem ou tratamento físico (secagem e trituração do resíduo) e enriquecimento com fertilizantes minerais (BENITES et al., 2013). Os pós de rochas vêm sendo estudado como uma fonte barata de nutrientes para mineralização desses resíduos orgânicos, sendo que, segundo a Instrução Normativa Nº 5 (MAPA, 2016), podem ser empregados como remineralizadores do solo, com grande potencial para recuperação de solos degradados por erosão e lixiviação de nutrientes, porém com liberação lenta de minerais (SOUZA et al., 2016). Em trabalho conduzido por Da Silva et al. (2012) com utilização de remineralizadores do solo e esterco bovino para produção de mudas de *E. benthamii*, verificou-se aceleração da liberação dos minerais da rocha, promovendo elevação do pH do solo, teores de Mg, Si para o solo e K para a planta.

O desempenho agrônômico para espécies florestais de rápido crescimento e exigência nutricional, em sistemas que utilizem fertilizantes organominerais remineralizadores, a partir de resíduos potencialmente poluidores (águas residuárias da suinocultura) e pó de rochas, ainda tem que ser testado, para verificar melhores proporções e combinações dos componentes desses fertilizantes. O trabalho objetivou possibilitar a utilização de adubos organominerais remineralizadores do solo e ectomicorrização no crescimento de *E. grandis*.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Local

O Experimento foi conduzido em ambiente protegido, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus Frederico Westphalen* entre os meses de janeiro e abril de 2019.

O solo original utilizado no experimento foi caracterizado como um Latossolo Vermelho, coletado em área de produção agrícola na camada de 0-20 cm, com textura de 70%,

enquanto o substrato para a condução do experimento foi produzido artificialmente, a partir do solo original com a adição de areia média na proporção de 50% (v/v), para obter uma textura menor (Próximo de 35% de argila). Após a mistura foi realizado a correção do substrato com calcário dolomítico (PRNT 100%), para elevar a saturação de bases para 40%, conforme recomendação para cultura do Eucalipto (SBCS, 2016). Os atributos químicos e físicos estão especificados na Tabela 1, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997) para textura e Tedesco et al. (1995) para demais atributos.

Tabela 1 – Análise química do solo originalmente utilizado e a sua mistura com areia média para a implantação do experimento com *Eucalyptus grandis*.

Solo	-----Atributo-----									
	Argila*	pH _{água}	MO	P	K	Ca	Mg	Al+H	Sat Bases	Sat Al
	%	1:1	%	--mg dm ⁻³ --		---Cmol _c dm ⁻³ ---			-----%-----	
100%	70%	5,3	1,1	6,5	26,5	0,4	0,1	3,3	23	37
Solo + Areia ¹	34%	6,7	0,52	4,46	21,6	1,4	0,56	3,0	40,1	0,0

¹ Caracterização química após a correção do solo com calcário dolomítico PRNT 100%. * Teor de argila determinado pelo método da pipeta, Embrapa (1997). Fonte: Autor (2020)

A mistura do solo com a areia teve como finalidade facilitar o trabalho com as plantas, como a lavagem das raízes. O solo foi mantido sob irrigação diária por 30 dias, a fim de estabilizar as suas características físico-químicas.

4.4.2 Delineamento

O delineamento utilizado foi o Inteiramente Casualizado em arranjo fatorial 4 x 2 x 2, sendo quatro fertilizantes: fertilizante mineral (FM), fertilizante mineral remineralizador (FM+REMS), fertilizante organomineral (FOM), e fertilizante organomineral remineralizador (FOMREMS), com dois níveis de fósforo nas formulações (alto e baixo teor de fósforo) e com ou sem a inoculação de ectomicorriza, com 8 repetições.

As formulações foram adequadas para as necessidades da cultura do Eucalipto (SBCS, 2016), sendo utilizado para a adequação do balanceamento dos adubos FM+REMS, FOM e FOREMS fertilizantes minerais simples (superfosfato simples – STF, cloreto de potássio – KCl e uréia) e de substância inerte para enchimento (areia lavada).

Para a fabricação dos fertilizantes com composição de remineralizador, foi utilizado o produto proveniente da empresa Alessi Mineração®, de Frederico Westphalen, composto pela moagem de rochas de origem basáltica e fosfatos naturais.

O fertilizante orgânico (FOM) e a sua posterior adição ao fertilizante organomineral remineralizador (FOMREMS), teve em sua composição a fração sólida das águas residuárias de suinocultura. Essa fração sólida foi adquirida juntamente a estação de tratamento pertencente ao grupo de pesquisa, no setor de suinocultura do campus. Na estação o dejetos é armazenado em tanques fechados, sendo posteriormente adicionado produtos que promovem a precipitação dos sólidos (dados não publicados), os quais foram secos em temperatura ambiente e posteriormente triturados.

Como os materiais utilizados para a fabricação dos fertilizantes possuem solubilidades diferentes, na Tabela 2 pode ser verificada a proporção de nutrientes aplicados em função dos componentes utilizados para a formulação dos diferentes tipos de fertilizantes (o processo tecnológico dos presentes fertilizantes encontra-se em processo de registro de patente).

O fungo ectomicorrízico (UFSC-PT116) foi obtido na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O material foi multiplicado por 30 dias anteriores a implantação do experimento em meio de cultura sólido MNM (Merlin-Norkrans Modificado) (MARX, 1969), em placas de Petri, acondicionadas em incubadoras tipo BOD a 25°C.

Tabela 2 – Proporção de nutrientes aplicados em função dos componentes utilizados para a formulação dos diferentes tipos de fertilizantes.

Fertilizante ¹	Teor de P	Fórmula NPK	Proporção de nutrientes (%)								
			Nitrogênio			Fósforo			Potássio		
			Uréia	FO	REMS	SFT	FO	REMS	KCl	FO	REMS
FM ²	Alto	6-18-18	100,0	----	----	100,0	----	----	100,0	----	----
	Baixo	6-4-18	100,0	----	----	100,0	----	----	100,0	----	----
FM + REMS	Alto	3-9-9	100,0	----	----	98,3	----	1,7	91,5	----	8,5
	Baixo	3-2-9	100,0	----	----	92,0	----	8,5	91,5	----	8,5
FM + FO (FOM)	Alto	3-9-9	50,2	49,8	----	84,1	15,9	----	98,3	1,7	----
	Baixo	3-2-9	50,2	49,8	----	29,0	71,0	----	98,3	1,7	----
FM + FO + REMS (FOMREMS)	Alto	3-9-9	75,3	24,7	----	91,2	7,9	0,9	94,9	0,8	4,2
	Baixo	3-2-9	75,3	24,7	----	60,4	35,7	3,9	94,9	0,8	4,2

¹O processo tecnológico dos presentes fertilizantes encontra-se em processo de registro de patente; ²FM: fertilizante mineral; REMS: remineralizador do solo (pó de rocha); FO: fertilizante orgânico (fração sólida de águas residuárias de suinocultura); FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo; SFT: superfosfato triplo; KCl: Cloreto de potássio. Fonte: Autor (2020).

4.4.3 Instalação e condução do experimento

As sementes da espécie de *Eucalyptus grandis* utilizadas no experimento foram fornecidas pela Fundação de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (FEPAGRO), centro de pesquisa em florestas (Santa Maria – RS). As sementes foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 5% por 20 min e lavadas em água corrente por 5 minutos, semeadas em bandejas de poliestireno, com células de 15,5 mL, em substrato comercial Carolina Soil® esterilizado em autoclave a 121°C em 3 ciclos de 30 minutos. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas sob irrigação, utilizando-se água destilada para evitar contaminações, até a emergência das plântulas e posterior raleio (1 planta por célula da bandeja).

Quando as mudas atingiram 4 pares de folhas definitivas (cerca de 10 cm) foi realizado o transplante para vasos de polietileno de 5 L, sendo considerado uma unidade experimental (UE). Os fertilizantes foram incorporados ao solo+areia do vaso antes do transplante das mudas e a quantidade de fertilizante usada foi conforme as recomendações do manual da SBCS (2016) para a população ha^{-1} de Eucalipto de 10.000 plantas.

No momento do transplante foi inoculada a ectomicorriza *Pisolithus microcarpus*. O inóculo foi preparado em liquidificador, no qual 10 placas de Petri contendo 21 colônias foram trituradas em 500 mL de água destilada por 10 segundos. Para a inoculação foi aplicado 10 mL dessa solução, com uma seringa graduada, diretamente nas raízes das mudas e no solo+areia em contato com as raízes no momento do plantio. A testemunha, sem inoculação, também recebeu 10 mL de uma solução contendo somente o meio de cultura MNM.

O experimento foi conduzido até o momento que o crescimento das mudas foi estabilizado, aos 100 dias após o transplante (DAT), como efeito dos fertilizantes sobre mudas já formadas. Durante esse período foram realizadas irrigações diárias, com o uso de um sistema automático de microaspersão, aplicando 7 mm de lâmina diária de irrigação. Para atender as exigências do delineamento experimental, semanalmente foi realizado o rodízio (aleatorização) das UEs.

4.4.4 Avaliação morfológica

Ao final do experimento foram quantificados os seguintes parâmetros: altura da parte aérea (H), com régua graduada da base do solo até a última folha expandida do ramo principal; o diâmetro do colo (DC), com paquímetro digital (marca Black Jack Tools®); número de folhas (NF); a massa seca do sistema radicular (MSR), parte aérea (MSPA) e do caule (MSC), pela

separação das partes da planta e posterior secagem em estufa de ventilação forçada a 60 ± 1 °C até a massa constante (pesadas em balança analítica) e calculada a massa seca total (MST) pela soma das MSR e MSPA.

As raízes foram separadas do solo por meio de lavagem com água corrente usando peneiras com malha de 0,5 mm. Após a lavagem das raízes, as mesmas foram fotografadas com câmera digital (Samsung® de 13.0 Megapixels). Após a fotografia das imagens radiculares, foi determinada a área superficial específica (ASE) com auxílio do software Safira 2.0 (JORGE & SILVA, 2010), e o volume radicular (VR) foi determinado pelo método de deslocamento de água na proveta, adaptado da metodologia utilizada em solos pela Embrapa (1997). A área foliar foi determinada pela metodologia de discos de área conhecida (BENINCASA, 1988).

4.4.5 Análise química da massa seca das plantas

Após a secagem, as amostras das plantas coletadas para determinação da MSR e MSPA foram trituradas em moinho do tipo Wiley (10 mesh) para a determinação dos teores de macronutrientes (N, P e K) através da digestão sulfúrica conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (1995) e leitura em destilação por arraste de vapor (para Nitrogênio) e fotômetro de chama (para Fósforo e Potássio).

4.4.6 Parâmetros da Clorofila

Foi determinado o índice relativo de clorofila (IRC) das folhas por meio de clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, Falker, Porto Alegre, modelo CFL 1030) (FALKER, 2008), que fornece instantaneamente resultados em unidades adimensionais chamados valores de IRC. O equipamento faz a leitura em 3 comprimentos de onda, dois emissores na faixa do vermelho (um próximo do pico de cada clorofila, IChla e IChlb) e um emissor na faixa do infravermelho próximo, a combinação destes valores gera o IRC para cada clorofila e o IChl Total.

4.4.7 Associação micorrizica

A Colonização micorrízica nas raízes foi avaliada por meio da técnica de clarificação e coloração de raízes com Azul de Trypan 0,05%, para visualização em microscópio e lupa de estruturas intercelulares de micorrizas (BRUNDRETT et al., 1996). A porcentagem de

colonização ectomicorrízica foi estimada em 5 repetições por planta pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980).

4.4.8 Análise estatística

A análise estatística teve como modelo matemático: $Y_{ijk} = m + a_i + d_j + c_k + (ad)_{ij} + (ac)_{ik} + (dc)_{jk} + (adc)_{ijk} + e_{ijk}$, no qual: Y_{ijk} é uma observação do tratamento “nível i do fator A (Micorrizas) com o nível j do fator D (Nível de P) e do fator C (Fertilizante)”; m é a média geral do experimento, a_i é o efeito do nível i do fator A; d_j é o efeito do nível j do fator D; c_k é o efeito do nível k do fator C; $(ad)_{ij}$ é o efeito da interação do nível i do fator A com o nível j do fator D; $(dc)_{jk}$ é o efeito da interação do nível j do fator D com o nível k do fator C; $(adc)_{ijk}$ é o efeito da interação do nível i do fator A, dentro do nível j do fator D, e com o nível k do fator C; e_{ijk} é o efeito aleatório do erro experimental.

Os resultados foram submetidos a análise de variância para identificar a interação entre os fatores, quando observada a significância foi realizado a comparação de médias para os fatores A, D e C pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade de erro, através do programa SISVAR (FERREIRA, 2011)

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Avaliação Morfológica

A análise da variância pelo Teste F ($p \leq 0,05$) indicou que não houve significância ($p > 0,05$) para a interação fertilizantes com os teores de fósforo e a micorrização das mudas (trifatorial), sendo nesse caso analisado o efeito da interação de cada bifatorial, expressa por meio das variáveis analisadas na Tabela 3.

Os fertilizantes orgânicos FOM e FOMREMS evidenciaram as maiores médias de diâmetro do colo, não diferindo entre si, mesmo com teor baixo de P. Enquanto o FM resultou na menor média, quando comparado aos demais tratamentos, sendo que no teor baixo foi significativamente menor (Tabela 3). Para o FM+REMS foi observada a menor média para o teor alto de P, não diferindo entre os teores. Trabalho de Ceconi et al (2006), com mudas de açoita-cavalos e adubação fosfatada, evidenciou que o diâmetro de colo tem uma estreita correlação com a sobrevivência e o ritmo de crescimento após o plantio a campo, com as mudas mais bem nutridas apresentando os melhores valores para essa variável.

Tabela 3 – Diâmetro do Colo, Área Foliar, Massa Seca de Caule e Massa Seca Aérea de *Eucalyptus grandis* cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores com teores alto e baixo de fósforo, com e sem micorrização.

Fertilizante x Teor de fósforo (P)				
Teores de P	Fertilizante			
	FM ¹	FM+REMS	FOM	FOMRENS
----- Diâmetro do Colo (mm) -----				
Alto	7,62Ab	6,18Ac	11,29Aa	12,00Aa
Baixo	6,31Bb	6,56Ab	11,18Aa	11,89Aa
CV	13,21%			
----- Área Foliar (cm ²) -----				
Alto	11,10Ab	7,04Ab	32,38Aa	30,98Aa
Baixo	8,33Ac	7,8Ac	26,79Bb	33,13Aa
CV	28,97%			
----- Massa Seca de Caule(g) -----				
Alto	4,96 Ab	3,09 Ab	16,30 Aa	15,65 Ba
Baixo	3,51 Ac	3,74 Ac	13,14 Bb	18,52 Aa
CV	29,71%			
----- Massa Seca Aérea (g) -----				
Alto	10,48Ab	6,76Ab	36,21Aa	36,33Aa
Baixo	6,96Ac	7,44Ac	29,71Ab	38,83Aa
CV	30,63%			
Fertilizante x Micorrização				
Micorrização	Fertilizante			
	FM	REMS	FOM	FOMREMS
----- Área Foliar (m ²) -----				
Com	8,4Ac	7,42Ac	25,55Bb	30,65Aa
Sem	11,02Ab	7,43Ab	33,62Aa	33,47Aa
CV	28,97%			
Teor de fósforo (P) x Micorrização				
Teores de P	Micorrização			
	Com Micorrização		Sem Micorrização	
----- Diâmetro do coleto (mm) -----				
Alto	9,74 Aa		8,81 Ab	
Baixo	8,90 Ba		9,07 Aa	
CV	13,21%			

¹FM: fertilizante mineral; REM: remineralizador do solo (pó de rocha); FO: fertilizante orgânico (fração sólida de águas residuárias de suinocultura); FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

O diâmetro do colo ainda apresentou interação para os teores de P e a micorrização das mudas, sendo maior com o teor alto de P e presença da micorrização (Tabela 3). Esse resultado corrobora com os de Souza et al. (2004), que trabalhando com isolado de FECM e doses crescentes de P para *E. dunnii*, observou o aumento do diâmetro do colo. É possível que mesmo

com adição de teor mais alto de P, seu nível de disponibilidade tenha ficado baixo em decorrência da sua adsorção nos colóides do solo, resultando em efeito da micorrização.

A área foliar apresentou interação entre fertilizantes e teores de P e também para os fertilizantes e micorrização das mudas. Sendo os fertilizantes orgânicos (FOM e FOMREMS) os que apresentaram as maiores médias, não diferindo entre os teores de P, exceto para o FOM, no qual o teor baixo afetou negativamente esta variável (Tabela 3). A diferença da área foliar nos fertilizantes FOM e FOMREMS para o FM e FM+REMS foi expressiva, e levando em consideração que a área foliar e o posterior cálculo do índice de área foliar (IAF) em relação a população de plantas é um dos principais parâmetros morfológico para a cultura do Eucalipto, isso pode indicar a produtividade do florestamento (ALMEIDA et al., 2015).

A massa seca da parte aérea e massa seca do caule (Tabela 3) apresentaram comportamento similar, onde novamente os fertilizantes orgânicos promoveram um maior acúmulo de massa, quando comparado ao FM e FM+REMS, para dose alta de P. Os fertilizantes não diferiram quanto ao teor de P, para essas variáveis, exceto o FOMREMS que apresentou as maiores médias para o teor baixo na massa seca do caule. Assim como a altura de plantas e número de folhas, a massa seca de caule fornece um indicativo da qualidade dos fertilizantes para o Eucalipto, já que o mesmo é a parte de principal de interesse dendrológico (DIAS & SIMONELLI, 2013; SILVA et al., 2015), tendo em vista que os teores baixos de P não afetaram a massa seca aérea total, no fertilizante FOMREMS e apresentaram bons resultados para massa seca do caule.

Mesmo com o teor baixo de P o fertilizante orgânico FOMREMS apresenta médias que não diferem para o teor alto (de P), para as variáveis apresentadas, e até superior na massa seca do caule. Isso pode estar relacionado a liberação lenta dos nutrientes desse fertilizante, conforme resultados de trabalho realizado por Del Quiqui et al. (2004), comparando-se formulações de NPK com fertilizantes de liberação lenta de nutrientes para a produção de mudas de *E. grandis*, *E. saligna* e *C. citriodora*. Fertilizantes de liberação lenta apresentam melhores resultados em cultivos com espécies florestais, pois promovem o desenvolvimento radicular para explorar mais os nutrientes e água, tornando-as mais robustas as condições adversas (PELLISSARI et al., 2009).

As variáveis altura de plantas, número de folhas, volume, ASE e massa seca radicular não apresentaram interações significativas, apenas efeito simples, sendo maior com a utilização dos fertilizantes FOM e FOMREMS, enquanto os teores de P não apresentaram significância para as variáveis analisadas (Tabela 4). O fertilizante FOM só apresentou diferença do FOMREMS para a massa seca radicular, não diferindo nas demais variáveis. As menores

médias foram observadas para o fertilizante FM+REMS, o que está relacionado com a natureza de liberação de seus nutrientes, já que Prates et al. (2012) afirma que os remineralizadores apresentam grande instabilidade no solo relacionado a sua maior ASE, podendo disponibilizar seus nutrientes em diferentes prazos, com a ressalva de que a curto prazo a liberação é muito mais influenciada pela natureza de seus minerais, do que pela sua granulometria.

Tabela 4 – Altura de Plantas, Número de Folhas, Volume Radicular, Área Superficial Específica (ASE) Radicular, e Massa Seca Radicular de *Eucalyptus grandis*, cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores, com e sem micorrização.

Variável analisada	Fertilizante				CV
	FM ¹	FM+REMS	FOM	FOMREMS	
Altura de Plantas (cm)	67,85 b ³	62,52 b	100,61 a	102,07 a	17,6%
Nº de Folhas	113,84 b	95,06 c	202,78 a	216,0 a	20,3%
Volume Radicular (cm ³)	48,66 b	41,91 b	110,66 a	118,84 a	31,3%
ASE ² Radicular (cm ²)	8,85 b	6,39 b	11,87 a	12,44 a	28,2%
MS Radicular (g)	4,50 c	3,94 c	13,16 b	15,25 a	36,6%
Variável analisada	Micorrização		CV		
	Com Micorrização	Sem Micorrização			
Nº de Folhas	163,88 a	149,97 b	20,3%		
MS Radicular (g)	9,91 a	8,52 b	36,6%		

¹ FM: fertilizante mineral; REM: remineralizador do solo (pó de rocha); FO: fertilizante orgânico (fração sólida de águas residuárias de suinocultura); FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. ² ASE= Área Superficial Específica. ³ Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

A micorrização apresentou efeito positivo para o aumento do número de folhas e massa seca radicular, semelhante ao trabalho conduzido por Weirich et al (2018), onde o mesmo encontrou aumento na massa seca radicular de mudas de *C. citriodora* inoculada com ectomicorrizas, e em *E. grandis* com o isolado UFSC-PT116, houve aumento no número de emissão de folhas.

4.5.2 Análise química da massa seca das plantas

Para análise química dos nutrientes presentes na massa seca verificou-se significância para a interação trifatorial dos fatores de variação para o fósforo nas raízes (Tabela 5). O teor de P nas raízes apresentou interação tripla significativamente maior para o fertilizante FOM com micorrização e teor alto de P no fertilizante, seguido do FOMREMS. Isso indica que as micorrizas promoveram o aumento da absorção de fósforo, proveniente do fertilizante, para os tecidos radiculares das plantas através das suas hifas, o que corrobora com o trabalho de Bressan & Vasconcellos (2002) com milho e Balota et al (2011) com mudas de acerola. As

Ectomicorrizas também promovem a solubilização e aumento na absorção de P pela planta, pela ação de fosfatases produzidas pelos fungos que atuam na mineralização de P orgânico do solo (GRIFFITHS & CALDWELL, 1992).

Tabela 5 – Teor de fósforo (P) presente nas raízes de *Eucalyptus grandis*, cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores com teor alto e baixo de fósforo, com e sem micorrização.

Fertilizante	Micorrização			
	Com Micorrização		Sem Micorrização	
	Alto P ²	Baixo P	Alto P	Baixo P
	----- P raiz (g kg ⁻¹) -----			
FM ¹	0,96 Ba ³ I	0,84 Aa I	1,22 Aa I	0,88 Aa I
FM+REMS	0,91 Ba I	1,60 Aa I	1,31 Aa I	0,80 Aa I
FOM	2,92 Aa I*	1,25 Ab II	1,42 Aa I*	1,66 Aa I
FOMREMS	2,12 Aa I	1,21 Aa II	1,66 Aa I	1,36 Aa I
CV	35,59%			

¹ FM: fertilizante mineral; REM: remineralizador do solo (pó de rocha); FO: fertilizante orgânico (fração sólida de águas residuárias de suinocultura); FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. ² Teores alto e baixo de fosforo (P). ³ Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem os fertilizantes, dentro de cada teor de P com ou sem micorrização; e médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem os teores de P, para cada adubo com ou sem micorrização pelo teste de Scott-Knott a ($p \leq 0,05$) de significância. * Médias que que apresentaram significância, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), para a interação tripla do fertilizante FOM, com e sem micorrização dentro do teor alto de P. Fonte: Autor (2020)

Para os demais nutrientes foi verificada interação dupla significativa: fertilizante e teores P, para o fósforo na parte aérea (P aéreo) e potássio nas raízes (K raiz); Fertilizante e micorrização, para nitrogênio nas raízes (N raiz); e Micorrização com teores de P, para o fósforo na parte aérea (P aéreo) (Tabela 6).

O fertilizante FOMREMS apresentou maior teor de P aéreo e K raiz no teor baixo de P nos fertilizantes. Quando o teor de P nos fertilizantes foi alto, o FM resultou em maiores teores de fosforo na parte aérea do que os demais tratamentos. Esse comportamento pode estar relacionado a composição dos fertilizantes, pois em teores altos de P as plantas são favorecidas pela grande disponibilidade de nutrientes solúveis do FM, mas quando o teor é baixo o FOMREMS acaba fornecendo o nutriente através da decomposição de sua fração orgânica pelos microrganismos do solo, trabalhando como um fertilizante de liberação lenta. Em trabalho desenvolvido por Trigueiro & Guerrini (2003) com uso de biossólido, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), para produção de mudas de *E. grandis*, foi observado comportamento semelhante, onde em comparação com o uso de adubação mineral o resíduo orgânico apresentou um menor acúmulo de P nas partes aéreas. O fósforo na parte aérea,

também foi influenciado pela interação micorrizas e teores de P no fertilizante, onde a micorrização permitiu acúmulos semelhantes entre os tratamentos mesmo em teores baixo de P.

Tabela 6 – Fósforo na parte aérea (P aéreo), potássio nas raízes (K raiz), e nitrogênio nas raízes (N raiz) de *Eucalyptus grandis* cultivado com diferentes fertilizantes organoreminerais remineralizadores com teores alto e baixo de fósforo, com e sem micorrização.

Fertilizantes x Teores de fósforo (P)				
Teor de P	Fertilizantes			
	FM ¹	FM+REMS	FOM	FOMREMS
-----P aéreo (g kg ⁻¹) -----				
Alto	13,03 Aa*	11,81 b	11,66 Ab	11,84 Bb
Baixo	11,51 Bb	11,86 b	11,33 Ab	13,45 Aa
CV	9,64%			
-----K raiz (g kg ⁻¹) -----				
Alto	7,56 Aa	6,89 Aa	6,93 Aa	6,66 Ba
Baixo	6,84 Ab	7,16 Ab	6,91 Ab	9,26 Aa
CV	12,99%			
Fertilizante x Micorrização				
Micorrização	Fertilizante			
	FM	FM+REMS	FOM	FOMREMS
-----N raiz (g kg ⁻¹) -----				
Com	3,17 Ac	4,59 Ab	7,22 Aa	5,36 Ab
Sem	3,83 Ab	3,82 Ab	5,25 Ba	5,47 Aa
CV	24,13%			
Micorrização x Teores de fósforo (P)				
Teor de P	Micorrização			
	Com	Sem		
-----P aéreo (g kg ⁻¹) -----				
Alto	11,93 Aa	12,24 Aa		
Baixo	12,61 Aa	11,46 Ab		
CV	9,64%			

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a ($p \leq 0,05$) de significância; ¹ FM: Fertilizante Mineral; REMS: Remineralizador do solo (pó de rocha); FO: fertilizante orgânico (fração sólida de águas residuárias de suinocultura); FOM: fertilizante organomineral; FOMREMS: fertilizante organomineral remineralizador do solo. Fonte: Autor (2020).

A micorrização favoreceu o acúmulo de N nas raízes das plantas com o uso do FOM, não sendo significativo com o uso do FOMREMS (Tabela 5). O FOMREMS, mesmo sendo produzido com a fração orgânica, apresenta maior proporção de N oriunda de fertilizantes minerais, enquanto o FOM apresenta praticamente uma relação de 50/50 (Tabela 2). Isso indica que a micorrização promoveu o melhor aproveitamento do nutriente favorecido pela maior área de contato solo-planta pelo fungo (LOCATELLI et al., 2002).

Apenas a variável potássio na parte aérea (K aérea) apresentou efeito simples para o fator de variação fertilizantes, cujo teste de médias está representado na Tabela 7. A variável analisada, nitrogênio na parte aérea (N aérea) não apresentou diferença significativa para nenhuma das fontes de variação do presente trabalho.

Tabela 7 – Teores de potássio na parte aérea (K aérea) de *Eucalyptus grandis*, cultivado com diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores.

Fertilizante	K aérea (g kg ⁻¹)
FM	12,10 B*
FM+REMS	12,00 B
FOM	11,32 B
FOMREMS	12,73 A
CV	10,40%

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a ($p \leq 0,05$) de significância. Fonte: Autor (2020).

A quantidade de potássio (K) presente nos tecidos aéreos foi maior para o fertilizante FOMREMS. Tendo em vista que as plantas submetidas a esse fertilizante apresentaram o maior desenvolvimento da parte aérea (altura de plantas, número de folhas e massa seca aérea) e que como o K está ligado a ativação enzimática da planta como fotossíntese translocação e balanço iônico (OLIVEIRA et al., 2004; TAIZ et al., 2017), o aumento da presença de K pode estar ligado a esses fatores.

4.5.3 Parâmetros da Clorofila

Os índices de clorofila apresentaram significância apenas para interação fertilizantes e teores de P, como pode ser observado na Tabela 8, sendo que a micorrização não apresentou efeito simples significativo. Para o Índice de Clorofila a (IChl a) foi observado que os fertilizantes orgânicos apresentaram os maiores valores, sendo superiores até mesmo com teor baixo de P no fertilizante, esse efeito é observado para as demais variáveis (IChl b e IChl T), tendo em vista que o pigmento da clorofila a é o mais representativo no limbo foliar (CAMPOSTRINI et al., 2001).

Tabela 8 – Índices de Clorofila a (IChl a), clorofila b (IChl b), e clorofila total (IChl T) para os tratamentos dos diferentes fertilizantes organominerais remineralizadores com teores alto e baixo de fósforo para produção de *Eucalyptus grandis* obtidos com o clorofilômetro digital (ClorofiLOG®, Falker CLF 1030).

Parâmetro	Teor de P	Fertilizante				CV
		FM	FM+REMS	FOM	FOMREMS	
Clorofila a (IChl a)	Alto	22,78 cB*	22,54 Ac	26,69 Ab	24,94 Ba	15,64%
	Baixo	25,49 cA	23,08 Ab	26,6 Aa	27,7 Aa	
Clorofila b (IChl b)	Alto	5,6 Ab	5,16 Ab	6,58 Aa	6,15 Ba	28,18%
	Baixo	5,69 Ac	5,63 Ac	6,46 Ab	7,27 Aa	
Clorofila Total (IChl T)	Alto	28,39 Bc	27,7 Ac	33,27 Aa	31,09 Bb	17,06%
	Baixo	31,18 Ac	28,71 Ab	33,06 Aa	34,97 Aa	

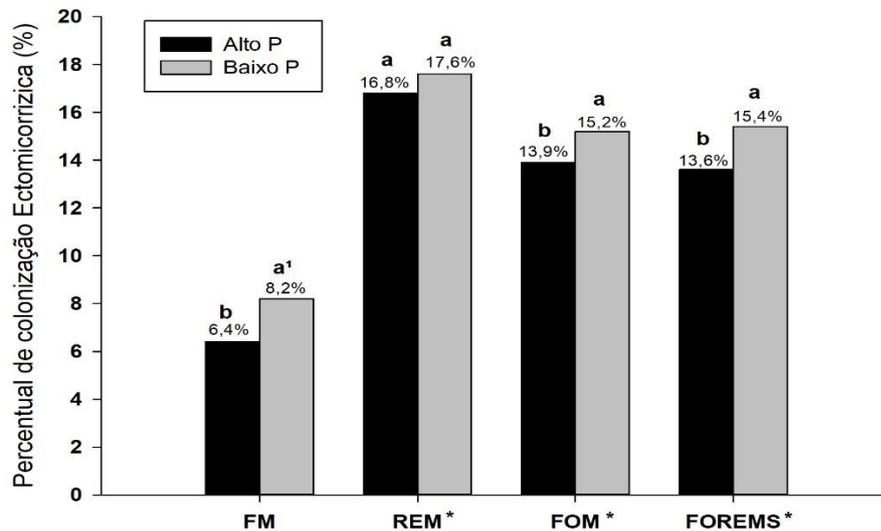
* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott 5%. Fonte: Autor (2020)

Considerando-se que, as plantas cultivadas nesse experimento apresentaram melhor desempenho com os fertilizantes orgânicos (FOM e FOMREMS), a maior concentração de pigmentos fotossintetizantes nessas plantas é reflexo deste desenvolvimento superior. Nogueira et al. (2012) define que o crescimento e adaptabilidade de uma planta a diversos ambientes está ligado a seu conteúdo de clorofila e carotenoides nas folhas, que é usado para estimar o potencial fotossintético das plantas.

4.5.4 Associação Micorrízica

Os resultados demonstraram interação significativa ($p \leq 0,05$) para a micorrização e os teores de fósforo na adubação (Figura 2) para cada fertilizante. O fertilizante FM resultou em colonização micorrízica significativamente menor do que os demais tratamentos, que não diferiram entre si (Figura 1). Os tratamentos onde não foi aplicada a ectomicorriza não houve colonização das raízes.

Figura 1 – Percentual de colonização micorrízica dentro de cada fertilizante para os teores altos e baixos de fósforo (P) em mudas de *Eucalyptus grandis*.



¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula, dentro do mesmo grupo de colunas (mesmo fertilizante) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). * Esses fertilizantes não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

No tratamento onde houve a aplicação do fertilizante REMS foi encontrada a maior colonização ectomicorrízica, com valores de 16,8% e 17,6%, não diferindo entre os teores de fósforo. O que pode ter favorecido para esse aumento da colonização das raízes, é a presença de nutrientes de liberação lenta (fosfatos naturais do remineralizador) que estimularam a associação da planta com o fungo, aumentando o sistema radicular e produção de enzimas e ácidos orgânicos que tornem os nutrientes disponíveis (LANDEWEERT et al., 2001).

Valores elevados de nutrientes disponíveis, na aplicação do FM no solo, podem ter acarretado na baixa colonização micorrízica, uma vez que as relações de simbiose entre o fungo e a planta não foram estimuladas, conforme preconizam Graziotti et al. (2003). Apesar do percentual de colonização ter sido menor que 20% nos tratamentos utilizados, o efeito da micorrização é expressivo, conforme trabalho realizado por Souza et al. (2004) onde os mesmos notaram resposta da micorrização até mesmo com a ausência de estruturas de colonização radicular na planta pelo fungo, sendo assim que o isolado de fungo micorrízico *Pisolithus microcarpus* possui uma boa afinidade com o *E. grandis*.

4.6 CONCLUSÕES

O uso de fertilizantes formulados com componentes orgânicos (fertilizante organomineral – FOM e fertilizante organomineral remineralizador – FOMREMS) promove maior desenvolvimento das plantas de *Eucalyptus grandis* após o transplante em relação aos fertilizantes minerais, o que possibilita sua utilização nos cultivos.

Os fertilizantes organomineral e organomineral remineralizador promoveram aumento nos teores de clorofila, indicando plantas com melhor nutrição e desenvolvimento. A micorrização não promoveu diferença significativa para os teores de clorofila.

A ectomicorrização com *Pisolithus microcarpus* foi eficiente na promoção do acúmulo de fósforo nas raízes, principalmente em plantas cultivadas com fertilizantes remineralizadores. O fertilizante organomineral remineralizador promoveu o aumento de potássio nos tecidos aéreos das mudas de *E. grandis*.

4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário brasileiro de silvicultura 2016**. Santa Cruz do Sul, RS. Ed. Gazeta. 2016. 60 p.

ALMEIDA, A. Q. D., RIBEIRO, A., DELGADO, R. C., RODY, Y. P., OLIVEIRA, A. S. D., & LEITE, F. P. Índice de área foliar de *Eucalyptus* estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM-Landsat 5. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 368-376, 2015.

BALOTA, E. L. MACHINESKI, O. STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.

BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, A.M., eds. **Nutrition of Eucalypts**. Melbourne, CSIRO Publishing, p.335-355. 1996.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: Noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BENITES, V. D. M., CORREA, J. C., MENEZES, J. F. S., & POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: workshop internacional y taller nacional valorización de residuos, oportunidad para la innovación, 2013, Pucón, Chile. Anais... Chile: CIDGRO, 2013., 2013

BRESSAN, W. VASCONCELLOS, C. A. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 509-517, 2002.

- BRUNDRETT, M. C. **Mycorrhizal Associations**: the web resource. 2008. Disponível em: <mycorrhizas.info>. Acesso em: 12 fev. 2020.
- CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. **UFNF, Rio de Janeiro**, 2001.
- CECONI, D. E., POLETO, I., BRUN, E. J., & LOVATO, T. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 292-299, 2006.
- DA SILVA, A., DE ALMEIDA, J. A., SCHMITT, C., & COELHO, C. M. M. Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 69-76, 2012.
- DEL QUIQUI, E. M., MARTINS, S. S., PINTRO, J. C., DE ANDRADE, P. J. P., & MUNIZ, A. S. Crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto cultivadas sob condições de diferentes fontes de fertilizantes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 293-299, 2004.
- DIAS, O.A.; & SIMONELLI, G. (2013) Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 3632-3646,
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Transferência de Tecnologia Florestal. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Emiliano Santarosa, Joel Ferreira Penteadó Júnior, Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart, editores técnicos. Brasília, DF : 21. ed. 2014.
- FALKER. A. AGRÍCOLA. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008
- FERREIRA, D. F. SISVAR - **Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2011.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v.84, n.3, p.489-500, 1980.
- GRAZZIOTTI, P. H.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Espécies arbóreas e ectomicorrizas em relação ao excesso de metais pesados. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, p. 55, 2003.
- GRIFFITHS, R.P. CALDWELL, B.A. Mycorrhizal mat communities in forest soils. **Mycorrhizas in Ecosystems**. eds READ, D.J. LEWIS, D.H. FITTER, A.H. ALEXANDER, I. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 1992.
- HASSE, Geraldo. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Já Editores, 2006.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Cenários Ibá: Estatísticas da indústria brasileira de árvores, 3º trimestre de 2019**. Brasília, DF. 1 ed. 2019.
- JANTSCHKELE et al., 2000
- JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **Safira: Manual de utilização**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010.

KUNZ, A., HIGARASHI, M. M., & DE OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LANDEWEERT, R., HOFFLAND, E., FINLAY, R. D., KUYPER, T. W., & VAN BREEMEN, N. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 5, p. 248-254, 2001.

LOCATELLI, L. M. VITOVSKI, C. A.; LOVATO, P. E.. Sistema radicular de porta-enxertos micropropagados de macieira colonizados com fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1239-1246, 2002

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA no 5**, 10/03/2016. Publicada no DOU de 14/03/2016.

MARX, D. H. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. **Phytopathologist**, Saint Paul, v. 59, p. 153-163, 1969.

MATOS, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. **Viçosa, MG: AEAGRI**, v. 140, 2007. 142 p.

MORREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NOGUEIRA, Natiélia O. et al. Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 390-395, 2013.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos. 1.ed. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2004. 17p.

ORRICO JÚNIOR, M. A., ORRICO, A. C., & LUCAS JÚNIOR, J. D. Compostagem da fração sólida da água residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 483-491, 2009.

PELLISSARI, R. A., SAMPAIO, S. C., GOMES, S. D., & CREPALLI, M. D. S. Lodo têxtil e água residuárias da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (W, Hill ex Maiden). **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 288-300, 2009.

PRATES, F. B. de S. et al. Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 207-213, 2012.

SILVA et al. Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 323-330, 2015.

SILVA, M. A., COSTA, M. D., ROCHA, R. B., & BORGES, A. C. Formação de ectomicorrizas por monócários e dicários de *Pisolithus* sp. e interações nutricionais em *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 917-929, 2007.

SILVEIRA, R. L. V. A. GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em *Eucalyptus*. **Fosforo na agricultura brasileira**. Eds. Tsuioshi Yamada et al., KP Potafos. Viçosa, MG. 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL. Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Manual de Calagem e Adubação para os Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre, 2016, 376p.

SOUZA, F. N. S. DE SANTANA, A. P. ALVES, J. M., MARTINS, M. H. Efeitos de um remineralizador de solos (biotita-xisto) na produção de duas variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 12, p. 45-59, 2016.

SOUZA, L. A. B. D. SILVA FILHO, G. N. OLIVEIRA, V. L. D. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na absorção de fósforo e na promoção do crescimento de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 349-355, 2004.

SOUZA, L. A. B.; SILVA FILHO, G. N.; OLIVEIRA, V. L. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na absorção de fósforo e na promoção do crescimento de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 349-355, 2004.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed Editora**. 2017.

TEDESCO, M. J et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de solos da UFRGS. 1995.

TRIGUEIRO, R. M. GUERRINI, I. A. DE MENEZES TRIGUEIRO, Rodrigo; GUERRINI, Iraê Amaral. Uso de biossólido como substrate para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 150-162, 2003.

WALLANDER, H. Uptake of P from apatite by *Pinus sylvestris* seedlings colonized by different ectomycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 218, n. 1-2, p. 249-256, 2000.

WEIRICH, S. W. et al. Influência de ectomicorrizas no crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus saligna* E *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 765-775, 2018.

WEIRICH, S. W. Eucalipto e ectomicorrizas para fitorremediação de solos contaminados com zinco. Dissertação de **mestrado**, programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente. UFSM. 2013. 97 p.

5. CAPÍTULO III – VIABILIDADE DE INOCULANTE DE ECTOMICORRÍZAS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

5.1 RESUMO

O Brasil se destaca mundialmente como maior produtor de produtos derivados do Eucalipto e do Pinus. A inoculação de fungos micorrízicos surge como uma prática favorável ao aumento da produtividade das espécies florestais, além de reduzir a aplicação de fertilizantes minerais. A dificuldade de explorar essa simbiose está relacionada a seleção de um método eficiente para a produção do inóculo. Esse trabalho teve por objetivo testar a viabilidade de diferentes inoculantes micorrízicos submetidos a diferentes temperaturas e tempos de armazenamento, na colonização radicular e crescimento de mudas de *E. grandis*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em fatorial (4x3x3), sendo 4 tipos de inoculantes (líquido; vermiculita; vermiculita + areia 50:50; (v:v) e substrato comercial, utilizado na produção de mudas), 3 temperaturas de armazenamento (4°C, 15±1°C e 25°C), e 3 períodos de armazenamento desde a fabricação (0, 30, 60 dias), com 5 repetições. Após os períodos de armazenagem os inóculos foram adicionados aos tubetes de produção de mudas em substrato comercial esterilizado. As sementes de *E. grandis* foram adicionadas aos tubetes e após a emergência e raleio foram cultivadas por 60 dias. Avaliou-se o percentual de colonização radicular das mudas de *E. grandis*, a altura de plantas, diâmetro do colo, número de folhas, volume de raízes e massa seca de plantas. Os inoculantes testados não apresentaram diferença entre si para promover a colonização radicular por ectomicorrizas. O inoculante de vermiculita e vermiculita mais areia (50:50, v:v) possibilitou maior altura e massa seca de mudas de *E. grandis*. O tempo de armazenamento do inoculante reduziu a altura de plantas, diâmetro do colo, massa seca de plantas e número de folhas de mudas de *E. grandis*.

Palavras-chave: Inoculante ectomicorrízico. Eucalipto. Armazenamento.

5.2 ABSTRACT

Brazil stands out worldwide as the largest producer of products derived from Eucalyptus and Pine. The inoculation of mycorrhizal fungi appears as a favorable practice to increase the productivity of forest species, in addition to reducing the application of mineral fertilizers. The difficulty of exploring this symbiosis is related to the selection of an efficient method for the production of the inoculum. This work aimed to test the viability of different mycorrhizal inoculants submitted to different temperatures and storage times, in the root colonization and growth of *E. grandis* seedlings. The experiment was conducted in a completely randomized factorial design (4x3x3), with 4 types of inoculants (liquid; vermiculite; vermiculite + sand 50:50; (v: v) and commercial substrate, used in the production of seedlings), 3 temperatures of storage (4°C, 15 ± 1°C and 25°C), and 3 storage periods since manufacture (0, 30, 60 days), with 5 repetitions. After the storage periods, the inoculants were added to the seedling production tubes on a sterile commercial substrate. *E. grandis* seeds were added to the tubes and after emergence and thinning were grown for 60 days. The percentage of root colonization of *E. grandis* seedlings, plant height, stem diameter, number of leaves, root volume and dry mass of plants were evaluated. The tested inoculants showed no difference between themselves to promote root colonization by ectomycorrhizae. The vermiculite and vermiculite plus sand inoculant (50:50, v: v) enabled greater height and dry mass of *E. grandis* seedlings. The storage

time of the inoculant reduced plant height, stem diameter, dry mass of plants and number of *E. grandis* seedling leaves.

Keywords: Ectomycorrhizal inoculant. Eucalyptus. Storage.

5.3 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta a maior produção de celulose de fibra de eucalipto e de compensados de pinus do mundo, com mais de 9,85 milhões de hectares de *Eucalyptus* (75,2%) e *Pinnus* (20,6%) plantados em 2017 (IBGE, 2018). Durante o ano de 2014 o setor brasileiro de árvores plantadas representou 1,1% do PIB e 5,5% do PIB industrial, o que equivale a R\$ 7,8 mil para cada hectare de árvores plantadas, superando o complexo soja e a pecuária extensiva (IBÁ, 2015). O aumento das exportações de celulose nacional para outros países está atrelado a qualidade do produto brasileiro e volume produzido, o que provoca uma demanda crescente no mercado de produtos florestais (SOARES et al., 2010), cuja produtividade não é suficiente para atender a demanda devido à baixa fertilidade natural dos locais onde são instalados os cultivos, e a grande extração dos nutrientes presentes no solo (DINIZ et al., 2011). Entre as tecnologias que têm entrado em discussão nos últimos anos, a inoculação com fungos micorrízicos selecionados se destaca, com capacidade de favorecer o crescimento de plantas mesmo em solos com baixos teores de nutrientes (SOUZA et al., 2006).

O termo micorriza foi criado por Frank em 1885 para definir a associação do fungo com a planta, formando um órgão morfológicamente característico e com dependência fisiológica íntima e mutualística, que permitiu a evolução das plantas e a diversidade das espécies na colonização do habitat terrestre (MORREIRA & SIQUEIRA, 2006). Segundo Rodrigues et al. (2018) os fungos micorrízicos constituem parte significativa da biomassa microbiana do solo e estão envolvidos em processos da interface solo-planta, como a absorção de nutrientes, principalmente os poucos móveis como o P, Cu, Mg e Zn. Os fungos micorrízicos ainda promovem a resistência das plantas a ataque de patógenos do solo e a retenção de elementos que se encontram em níveis tóxicos, em seu micélio (SOARES et al., 2007; SOUZA et al., 2012; SCHIAVO et al., 2010).

As ectomicorrizas predominam em plantas de seis famílias mais utilizadas em silvicultura no mundo, sendo que três dessas famílias (Fagaceae, Pinaceae e Myrtaceae) são objeto de técnicas de cultivos intensivos (ALVES et al., 2001). Embora as ectomicorrizas sejam frequentes nas plantações florestais, há grande variação na compatibilidade e eficiência,

dependendo ainda das condições ambientais e das espécies simbiotes (BALOTA & LOPES, 1996). A micorrização tem se mostrado com grande potencial para o setor florestal (MELLO et al., 2008), mas exige ainda estudos prévios para se determinar as melhores combinações fungo-hospedeiro-ambiente,

O controle da micorrização está atrelado ao desenvolvimento de metodologias de produção de inoculantes em larga escala, que incluem práticas de isolamento e multiplicação das culturas de fungos ectomicorrízicos (MOLINA & PALMER, 1982; VARMA, 1998), considerado como o ponto crítico no desenvolvimento de produtos comerciais. Além de conter o isolado específico para a espécie de planta cultivada, o inoculante deve apresentar condições apropriadas para o fungo resistir às condições de estresse físico, químico e biológicos envolvidos na produção do inóculo e das impostas pelo substrato das mudas ou solo (SMITH & READ, 1997; OLIVEIRA, 2004). Segundo Marx e Kenney (1982) o inóculo precisa apresentar sobrevivência de quatro a seis semanas, no mínimo, entre a inoculação e a produção dos pelos radiculares nas mudas.

Vários tipos de inoculantes tem sido utilizado para ectomicorrizas, destacando-se os esporos e o inoculante vegetativo. Os esporos são obtidos pela produção de culturas monocarióticas, sendo de difícil execução devido a sua complexidade (CARVALHO et al., 1997). Já o inoculante vegetativo é constituído do micélio de um isolado puro, já testado na sua infectividade e eficiência, produzido numa mistura de vermiculita, turfa, e meio de cultura (MARX et al, 1982; GIOMARO et al., 2005), nessa mistura o micélio fica protegido entre as lâminas de vermiculita, e sobrevive até a emissão de raízes receptoras pelas plantas (GARVAYE, 1990; SMITH & READ, 1997). Outra técnica utilizada com resultados bem promissores é a multiplicação dos propágulos vegetativos dos fungos ectomicorrízicos em biorreatores, em cultivo submerso com transporte aéreo, e após a multiplicação do material em escala o micélio é imobilizado em gel de alginato de cálcio, o que permite a formação de esferas que encapsulam o micélio e o mantém viável por períodos superiores a 18 meses (OLIVEIRA, 2004; OLIVEIRA et al., 2006; ROSSI, 2006)

Souza (2011) e Berude et al. (2015) afirmam que empregar inoculantes micorrízicos de qualidade é essencial para garantir uma rápida colonização das raízes da planta hospedeira, e que a melhor prática de inoculação é realizada na produção de mudas no viveiro. Os viveiros florestais, em sua maioria, não apresentam práticas de inoculação frequentes, e as mudas produzidas nesses estabelecimentos apresentam colonização apenas por fungos indígenas (presentes no substrato e sementes) de pouco ou de eficiência desconhecida (STEFFEN et al.,

2010). Uma proposta para adição desses isolados seria a sua inclusão em materiais inertes biologicamente, como vermiculita, areia ou substratos orgânicos, que seriam posteriormente adicionados ao substrato para produção das mudas, mas a qualidade desse material inoculante, deve ser testada afim de que se possa permitir a proteção das estruturas vegetativas do fungo ao longo do tempo (CZERNIAK & STÜMER, 2014).

Com base no exposto acima uma dúvida ainda persiste se o tipo de inoculante, a temperatura e o tempo de armazenamento influenciam na colonização radicular e crescimento do *E. grandis*. Esse trabalho teve por objetivo testar a viabilidade de diferentes inoculantes micorrízicos submetidos a diferentes temperaturas e tempos de armazenamento, na colonização radicular e crescimento de mudas de *E. grandis*.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em duas etapas: a primeira envolveu o preparo do inoculante realizado no Laboratório de Microbiologia e Biologia do Solo e a segunda, a produção das mudas em ambiente protegido, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen, durante os meses de setembro de 2019 a janeiro de 2020.

O delineamento utilizado foi o Inteiramente Casualizado em arranjo fatorial 4x3x4, sendo 4 tipos de inoculantes (líquido; vermiculita; vermiculita + areia 50:50; (v:v) e substrato comercial, utilizado em produção de mudas), 3 temperaturas de armazenamento (4°C, 15±1°C e 25°C), e 3 períodos de armazenamento desde a fabricação (0, 30, 60 dias), com 5 repetições.

Foram utilizados no preparo dos inoculantes o isolado ectomicorrízico UFSC-PT116 – *Pisolithus microcarpus*, O isolado foi obtido junto a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O material foi multiplicado por 30 dias anteriores ao preparo dos inoculantes, em meio de cultura sólido MNM (Merlin-Norkrans Modificado) (MARX, 1969), em placas de Petri, acondicionadas em incubadoras tipo BOD a 25°C.

O material vegetativo do fungo após crescimento foi utilizado para produzir os inoculantes, no qual 21 colônias contidas em 0 placas de Petri foram trituradas em 500 mL de água destilada/esterilizada, por 10 segundos. Esse inóculo foi armazenado em frascos plásticos estéreis e fechados hermeticamente compondo o inoculante líquido (definido com o padrão). Os demais substratos (substrato para mudas, vermiculita e a mistura de vermiculita+areia) foram esterilizados em autoclave a 121°C em 3 ciclos de 30 minutos, posteriormente foram

secos em estufa de ventilação forçada, a $\pm 80^{\circ}\text{C}$, até a sua massa constante. O inoculo líquido foi adicionado aos substratos na proporção 1:1 (v:v) e deixado para secar em temperatura ambiente por 12 horas, dentro de câmara de fluxo (para excluir os propágulos do ar), após a secagem os substratos foram acondicionados em sacos plásticos estéreis e fechados.

As temperaturas utilizadas foram para simular os locais de armazenamento: refrigerador (geladeira comercial) com temperatura controlada a 4°C ; temperatura ambiente de laboratório cuja as amostras foram guardadas em condições de ausência de luminosidade e temperatura de $15\pm 1^{\circ}\text{C}$ e temperatura de crescimento dos fungos, com as amostras acondicionadas em câmara de crescimento, do tipo BOD mantidas na temperatura de 25°C .

A produção dos inoculantes foi realizada em cronograma inverso afim de que os mesmos pudessem ser utilizados em um mesmo momento, na semeadura e implantação do experimento com o Eucalipto. Para os inoculantes do armazenamento do dia 0 (zero) foi considerado no cronograma o tempo de preparo do material e o armazenamento por 24 horas.

As sementes da espécie de *Eucalyptus grandis* utilizadas no experimento foram fornecidas pela Fundação de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (FEPAGRO), centro de pesquisa em florestas (Santa Maria – RS). As sementes foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 5% por 20 min e lavadas em água corrente por 5 minutos. No momento da semeadura foi adicionado 1 mL de cada inoculante sólido (v:v) por tubete e 1mL para o inoculante líquido. Foram semeados tubetes sem inoculante para fornecer tratamentos em branco para caracterização da colonização radicular.

A semeadura foi realizada em bandejas de tubetes, de polietileno de 175 cm^3 , com substrato comercial Tecnomax [®] para mudas florestais (Classe “F” misto, condutividade elétrica: $0,4\text{ ms cm}^{-1}$, densidade: 320 kg m^{-3} , pH 6,5) esterilizado em autoclave a 121°C em 3 ciclos de 30 minutos. Os inoculantes foram aplicados diretamente sobre o substrato. Após a semeadura as bandejas foram levadas para casa de vegetação e irrigadas com água destilada (sendo mantida a umidade a 80% da capacidade de retenção do substrato, por meio de pesagem da bandeja) até a emergência das plântulas, quando foi realizado o raleio deixando-se apenas uma planta por tubete.

No período de 60 dias após a emergência das plântulas foram realizadas as avaliações finais da morfologia das mudas: altura aérea (H), medida com régua graduada da base do substrato até o ápice foliar; o diâmetro do coleto (DC) com paquímetro digital marca Black Jack Tools [®]; número de folhas (NF); a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca

radicular (MSR) ambos separados na região do colo da muda e secos em estufa de ventilação forçada a $60\pm 1^\circ\text{C}$ até a massa constante (pesadas em balança analítica).

As raízes foram separadas do solo por meio de lavagem com água corrente usando peneiras com malha de 0,5 mm. Após a lavagem das raízes foi determinado o volume radicular (VR) pelo método de deslocamento de água na proveta, adaptado da metodologia utilizada em solos pela Embrapa (1997).

A colonização micorrízica nas raízes foi avaliada por meio da técnica de clarificação e coloração de raízes com Azul de Trypan 0,05%, para visualização de estruturas intercelulares de micorrizas em microscópio e lupa (BRUNDRETT et al., 1996). A Colonização ectomicorrízica foi estimada em 5 repetições por planta pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980).

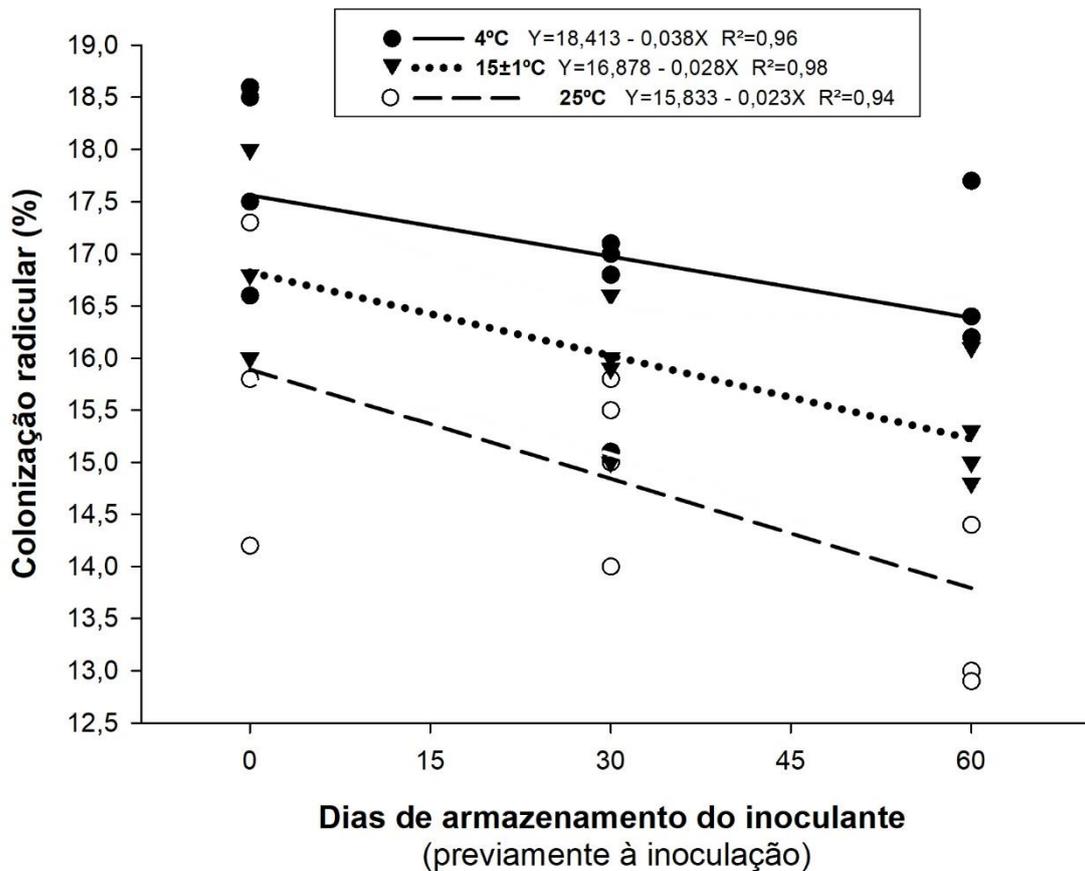
A análise estatística teve como modelo matemático: $Y_{ijk} = m + a_i + d_j + c_k + (ad)_{ij} + (ac)_{ik} + (dc)_{jk} + (adc)_{ijk} + e_{ijk}$, no qual: Y_{ijk} é uma observação do tratamento “nível i do fator A (inoculante) com o nível j do fator D (temperatura de armazenamento) e do fator C (tempo de armazenamento)”; m é a média geral do experimento, a_i é o efeito do nível i do fator A; d_j é o efeito do nível j do fator D; c_k é o efeito do nível k do fator C; $(ad)_{ij}$ é o efeito da interação do nível i do fator A com o nível j do fator D; $(dc)_{jk}$ é o efeito da interação do nível j do fator D com o nível k do fator C; $(adc)_{ijk}$ é o efeito da interação do nível i do fator A, dentro do nível j do fator D, e com o nível k do fator C; e_{ijk} é o efeito aleatório do erro experimental.

Os resultados foram submetidos a análise de variância para identificar a interação entre os fatores, quando observada a significância foi realizada a comparação de médias para os fatores qualitativos pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade de erro, e para os fatores quantitativos foi realizada a análise de regressão através do programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 está representado o efeito da interação das temperaturas dos locais de armazenamento do inoculante em relação ao tempo de armazenamento, para o isolado micorrízico UFSC-PT116.

Figura 1 – Percentual de colonização radicular das mudas de *Eucalyptus grandis* para as diferentes temperaturas de armazenamento dos inoculantes (isolado UFSC-PT116) em relação ao tempo de armazenagem. Fonte: Autor (2020)



Os percentuais de colonização variaram de 18,6 e 12,9%, sendo que os mesmos foram maiores nos primeiros dias após o armazenamento e foram reduzindo gradativamente com o tempo. Para os diferentes ambientes de armazenamento houve a redução linear do percentual de colonização ectomicorrízica, com o passar dos dias de armazenamento do inoculante após sua produção. O inoculante armazenado na temperatura de 4° apresentou os maiores percentuais de colonização, seguido pelo inoculante armazenado a 15°C ambiente e o armazenado a 25°C (Figura 1). Souza et al. (2003) indica que os fungos micorrízicos são afetados por fatores como umidade baixa e temperatura elevada, o que acarreta na menor quantidade de propágulos infectivos.

O percentual de redução da colonização radicular para a temperatura de armazenamento de 4°C foi de 4,26%, em 15°C de 1,7% e em 25°C de 1,3%, aos 60 dias após a produção do inoculante, o local de armazenamento a 4°C apresentou redução mais expressiva, no entanto em valores absolutos foi local com os maiores percentuais de colonização (superior a 14,6%), diferente de Santana (2014), onde o mesmo afirma que o armazenamento do inóculo em temperatura de 4°C mantém o mesmo ativo por longos períodos. O ambiente com temperatura mantida a 25°C apresentou a menor redução do percentual de colonização radicular, uma vez que essa é a mesma temperatura utilizada para cultivar o inóculo em meio MNM (Merlin-Norkrans Modificado), em BOD, e muito próxima da faixa ideal de crescimento vegetativo do fungo (FARIA et al., 2017).

Para os diferentes inoculantes utilizados não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para o percentual de colonização radicular das mudas de *Eucalyptus grandis* (tabela1), indicando que os diferentes materiais não influenciaram na manutenção da viabilidade dos propágulos do fungo durante o período de armazenamento. Apesar de serem resultados promissores a não diferenciação dos substratos utilizados como veículo inoculante, os resultados de colonização foram inferiores aos observados por Alves et al. (2001) com inoculante produzido de fungo ectomicorrízico em fermentação semissólida em vermiculita em mudas de 100 dias de *E. dunnii*, onde a colonização chegou a 40%. Levando em consideração a necessidade da inoculação de mudas florestais, a utilização do inoculante líquido, apresenta-se como uma forma interessante de inoculação de ectomicorrizas, uma vez que pode ser incorporado ao substrato de produção de mudas e mantém seus propágulos vegetativos viáveis, além de dispensar processamento do inoculante acarretando em possível contaminação com outras espécies fúngicas.

Tabela 1– Percentual de colonização radicular das mudas *Eucalyptus grandis* para os inoculantes utilizados na produção do inóculo de UFSC-PT116.

Inoculantes	Colonização radicular (%)
Líquido	16,20 a*
Substrato de mudas ¹	16,17 a
Vermiculita	16,18 a
Vermiculita + Areia	16,18 a
CV	16,70%

¹ Substrato mudas = Substrato comercial para produção de mudas; Vermiculita+Areia= Vermiculita mais areia 50:50 (v:v) * Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

Os resultados evidenciaram interação entre as temperaturas de armazenamento e os inoculantes utilizados na produção do inóculo de UFSC-PT116, para o diâmetro do colo das mudas de *E. grandis* (Tabela 2). O inoculante a base de vermiculita+areia armazenado a a 4°C provocou menor diâmetro do colo, a 25°C os inoculantes líquido e a vermiculita+areia também apresentaram redução significativa do diâmetro do colo e quando armazenados na condição de 15°C o inoculante com vermiculita + areia apresentou a maior média para o diâmetro do colo. O diâmetro do colo constitui um dos mais importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento das mudas após o transplante a campo, sendo de fácil mensuração e não destrutivo (CARNEIRO, 1995; GOMES et al., 2002). Apesar de haver efeito dos diferentes inoculantes para essa variável, o período de avaliação do experimento foi curto, se comparado com outros trabalhos da literatura (ALVES et al., 2001; GOMES et al., 2002) para a colonização radicular e o efeito da micorrização das mudas.

Tabela 2 – Diâmetro do colo de mudas *Eucalyptus grandis* para os locais de armazenamento e com os diferentes substratos utilizados na produção do inoculante de UFSC-PT116.

Substrato	Temperatura de armazenamento		
	4° C	15±1° C	25° C
Líquido	0,97 aA*	0,69 bB	0,64 bC
Substrato de mudas ¹	0,74 aA	1,11 aA	0,95 aB
Vermiculita	0,90 aA	0,88 aA	1,04 aB
Vermiculita + Areia	0,81 bA	0,88 bB	1,29 aA
CV		33,56%	

¹Substrato mudas = Substrato comercial para produção de mudas; * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

A altura de plantas, número de folhas, volume radicular e massa seca de plantas não apresentaram interação entre os fatores de variação analisados no experimento, sendo então analisados os efeitos simples dos tratamentos. Para a temperatura de armazenamento (Tabela 3) as variáveis analisadas não diferiram entre si, indicando que durante o tempo de cultivo das mudas, não foi possível apresentar efeito para os fatores de variação já que o experimento só foi conduzido por 60 dias após a semeadura.

Tabela 3– Altura de plantas, número de folhas, volume radicular e massa seca de mudas *Eucalyptus grandis* para as diferentes temperaturas de armazenamento utilizado na produção do inoculo de UFSC-PT116.

Variável analisada	Temperatura de armazenamento			CV
	4° C	15±1° C	25° C	
Altura de plantas (cm)	12,43 a	13,65 a	13,29 a	30,44%
Número de folhas	16,03 a	17,42 a	17,82 a	29,93%
Volume radicular (cm ³)	1,59 a	1,93 a	1,72 a	35,54%
Massa seca de plantas (g)	0,15 a	0,17 a	0,17 a	38,34%

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

Os inoculantes apresentaram diferença significativa para as variáveis morfológicas analisadas (Tabela 4). A altura de plantas e volume radicular apresentaram maior média para o inoculante produzido em substrato de vermiculita, não diferindo da adição de areia (50:50, v:v). A vermiculita presente nesses dois inoculantes possui grande capacidade troca de cátions (CTC) o que estaria relacionado a adsorção de nutriente e a sua lenta liberação, o que promove um efeito fertilizante de liberação lenta (WU et al., 2013). O número de folhas foi significativamente maior com o substrato comercial, vermiculita e vermiculita mais areia (Tabela 4), mas o efeito dessa variação pode estar mais relacionado as características da heterozigose dos descendentes de mudas produzidas a partir de sementes (o eucalipto é uma planta alógama), já que a seleção de mudas no viveiro por altura é uma pratica comum (ESTOPA et al., 2007).

Tabela 4– Altura de plantas, número de folhas, volume radicular e massa seca de mudas *Eucalyptus grandis* para os diferentes substratos utilizados na produção do inoculante de UFSC-PT116.

Variável analisada	Substratos				CV
	Líquido	S. mudas ¹	Vermiculita	V+A ²	
Altura de plantas (cm)	11,27 b*	12,60 b	14,78 a	13,83 a	30,44%
Número de folhas	13,94 b	16,26 a	17,83 a	20,39 a	29,93%
Volume radicular (cm ³)	1,36 b	1,66 b	2,10 a	1,88 a	35,54%
Massa seca de plantas (g)	0,12 a	0,17 a	0,18 a	0,18 a	38,34%

¹ S. mudas = Substrato comercial para produção de mudas; ² V+A= Vermiculita mais areia 50:50 (v:v) * Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2020)

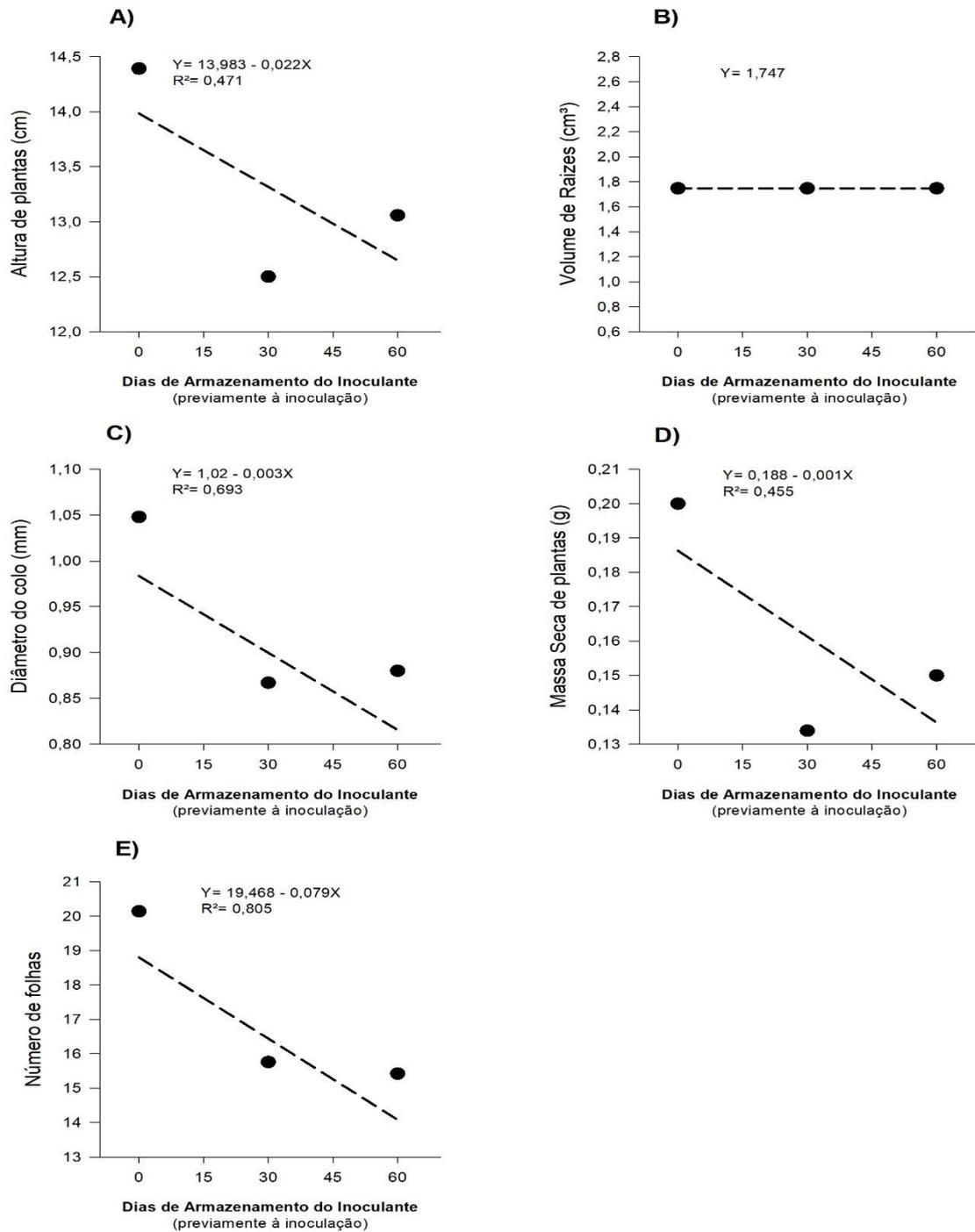
O efeito do tempo de armazenamento do inoculante pode ser observado na Figura 2 para a altura de plantas, volume e de raízes, diâmetro do colo, massa seca de plantas e número de folhas. O volume radicular (Figura 2 B) não diferiu para os dias de armazenamento, mantendo

a média de 1,747 cm³, o que pode estar relacionado ao substrato de produção das mudas ser rico em compostos orgânicos e poucos nutrientes disponíveis, que propiciaram uma boa formação radicular (CALDEIRA et al., 2000; MELLO et al., 2008).

A altura de plantas (Figura 2A) e a massa seca de plantas (Figura 2D) apresentaram o mesmo comportamento linear de redução com período de armazenamento do inoculante fúngico, onde os seus valores apresentaram expressiva redução nos já nos primeiros 30 dias após a produção do inoculante. O desenvolvimento das mudas em altura e acúmulo de massa seca em seus tecidos, favorece as mesmas em condições de baixa sobrevivência no campo, como o déficit hídrico e o ataque de formigas (MELLO et al., 2009), o que foi afetado nesse trabalho com o aumento do período de armazenamento do inoculante.

O diâmetro do colo e o número de folhas foi afetado negativamente com o aumento do período de armazenamento do inoculante antes da sua aplicação nas mudas. Para as duas variáveis a redução foi linear em 20% para o diâmetro do colo e em 25% o número final de folhas, o que pode estar relacionado a colonização mais tardia pela perda de vigor do inóculo, o que leva a demora do estabelecimento das relações fungo-hospedeiro, como associação preferencial em determinado estágio de desenvolvimento da planta (POUYU-ROJAS et al., 2006). Levando em consideração que o diâmetro do colo representa o equilíbrio da muda em relação a sua altura, a literatura sugere valores acima de 2 a 2,5 mm para transplante a campo, valores não observados nesse trabalho (LOPES et al., 2007; WENDLING & DUTRA, 2010; CALDEIRA et al., 2013), em trabalho conduzido por Reis et al (2008) esses valores só foram observados após 100 dias após a emergência. A redução do número de folhas implica diretamente na redução da área fotossintetizante das plantas e posterior acúmulo de massa seca nos tecidos (MARTINS & STRECK, 2007).

Figura 2 – Altura de plantas (A), volume de raízes (B), diâmetro de colo (C), massa seca de plantas (D) e número de folhas (E) de mudas de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do tempo de armazenamento dos inoculantes de UFSC-PT116. Fonte: Autor (2020)



5.6 CONCLUSÃO

Os inoculantes testados apresentaram efeitos semelhantes na promoção da colonização radicular por ectomicorrizas em *E. grandis*.

O inoculante de vermiculita e vermiculita mais areia (50:50, v:v) possibilitaram maior altura e massa seca de mudas de *Eucalyptus grandis*.

O tempo de armazenamento reduziu a altura de plantas, diâmetro do colo, massa seca de plantas e número de folhas de mudas de *Eucalyptus grandis*.

5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. R., SOUZA, O. D., PODLECH, P. A. S., GIACHINI, A. J., & OLIVEIRA, V. L. D. Efeito de inoculante ectomicorrízico produzido por fermentação semissólida sobre o crescimento de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 307-313, 2001.

BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico Arbuscular no cafeeiro em condições de campo: I. Persistência e interação com espécies nativas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 20, p. 217-223, 1996.

BERUDE, M. C. et al. Micorrizas e sua importância agroecológica. Enciclopédia **Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 132, 2015.

BRUNDRETT, M. C. *Mycorrhizal Associations: the web resource*. 2008. Disponível em: <[mycorrhizas.info](#)>. Acesso em: 12 fev. 2020.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba. n. 57, p. 161-170, 2000

CALDEIRA, M. V., DELARMELINA, W. M., PERONI, L., GONÇALVES, E. D. O., & SILVA, A. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, D. ROSADO, S. C. S. SOUZA, A. M. OLIVEIRA, A. F. Produção de culturas monociólicas e compatibilidade sexual intra e interpopulacional para o fungo ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius*. **CERES**, v.3, n.1, p. 143-160, 1997.

CZERNIAK, M. J.; STÜRMER, S. L. Produção de inoculante micorrízico on farm utilizando resíduos da indústria florestal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1712-1721, 2014.

DE SOUZA, E. L., ANTONIOLLI, Z. I., MACHADO, R. G., ECKHARDT, D. P., DAHMER, S. D. F. B., & SCHIRMER, G. K. Efeito da inoculação com isolados de fungos ectomicorrízicos sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 2, p. 251-261, 2012.

DINIZ, A. R.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Aporte de material decíduo e fertilidade do solo em plantio de eucalipto e floresta secundária. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 19, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

ESTOPA, R. A. et al. Desempenho dos descendentes de clones de *Eucalyptus* spp. autofecundados e cruzados. **CERNE**, v. 13, n. 3, p. 264-270, 2007.

FARIA, A. B. C. et al. Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2017.

FERREIRA, D. F. SISVAR - **Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2011.

GARBAYE, J. Competitivité des champignons ectomycorhiziens: premiers résultats et application à la sélection de souches pour la mycorhization contrôlée du hêtre et du chêne rouvre dans le nord-est de la France. **Revue Forestière Française**, Nancy, v. 36, n. 1, p. 33-43, 1984.

GARBAYE, J. Utilisation des mycorhizes en sylviculture. In: STRULLU, D. G. (Ed.). **Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées**. Paris: Lavoisier, 1990. p. 197-250.

GIOMARO, G. M. SISTI, D. ZAMBONELLI, A. **Cultivation of Edible Ectomycorrhizal Fungi by in Vitro Mycorrhizal Synthesis**. Soil Biology, v. 4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg .2005.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v.84, n.3, p.489-500, 1980.

IBÁ – Industria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2015**. Brasília, DF. 1 ed. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS**. Brasília, DF. 2018

LOPES, J. L. W. GUERRINI, I. A. SAAD, J. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**. vol.31 no.5 Viçosa, 2007

MARTINS, F. B., & STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1091-1100, 2007.

MARX, D. H. KENNEY, S. Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. In: SCHENCK, N.C. (Ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1982. p. 131-147

MARX, D. H. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. **Phytopathologist**, Saint Paul, v. 59, p. 153-163, 1969.

MARX, D. H.; RUEHLE, J. L.; KENNEY, D. S.; CORDELL, C. E.; RIFFLE, J. W.; MOLINA, R. J.; PAWUK, W. H.; NAVRATIL, S.; TINUS, R. W.; GOODWIN, O. C. Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* inoculation techniques for the development of ectomycorrhizae on container-grow tree seedlings, **Forest Science**, Bethesda, v. 28, n. 2, p. 373-400, 1982.

MELLO, A. H. D., ANTONIOLLI, Z. I., KAMINSKI, J., SOUZA, E. L. D., SCHIRMER, G. K., MACHADO, R. G., MORO JÚNIOR, C. Estabelecimento a campo de mudas de *Eucalyptus grandis* micorrizadas com *Pisolithus microcarpus* (UFSC Pt 116) em solo arenoso. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 149-155, 2009.

MELLO, A. H. D., KAMINSKI, J., ANTONIOLLI, Z. I., SANTOS, L. C. D., SOUZA, E. L. D., SCHIRMER, G. K., & GOULART, R. M. Influência de substratos e fósforo na produção de mudas micorrizadas de *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 321-327, 2008.

MOLINA, R. PALMER, J.G. Isolation, maintenance, and pure culture manipulation os ectomycorrhizal fungi. In: SCHENCK, N.C. (Ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1982. p. 115-129.

MORREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, L. P. D. Produção de inoculante, seleção e aplicação de fungos ectomicorrízicos em mudas de *Pinus taeda* L. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-graduação em Biotecnologia. 2004.

OLIVEIRA, L. P. Produção de inoculante, seleção e aplicação de fungos ectomicorrízicos em mudas de *Pinus taeda* L. **Dissertação de mestrado**. Pós-graduação em biotecnologia. UFSC. Florianópolis. 2004

OLIVEIRA, L. P. de et al. Viability and infectivity of an ectomycorrhizal inoculum produced in an airlift bioreactor and immobilized in calcium alginate. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, n. 3, p. 251-255, 2006.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 413-424, 2006.

REIS, E. R. et al. Período de permanência de mudas de *Eucalyptus grandis* em viveiro baseado em parâmetros morfológicos. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 809-814, 2008.

RODRIGUES, L. A., BARROSO, D. G., & DE ASSIS FIQUEIREDO, F. A. M. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018.

- ROSSI, M. J. Tecnologia para produção de inoculantes de fungos ectomicorrízicos utilizando cultivo submerso em biorreator airlift. Tese de doutorado. Pós-graduação em engenharia química. UFSC. Florianópolis. 2006.
- SANTANA, Angelo Souto de. Produção de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares. **Tese de doutorado**. Pós-Graduação em biologia de fungos. UFPB. 2014.
- SCHIAVO, J. A., MARTINS, M. A., & RODRIGUES, L. A. Crescimento de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava-de-extração de argila. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 171-178, 2010.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic, 1997. 605 p.
- SOARES, C. R. F. S., SIQUEIRA, J. O., CARVALHO, J. G. D., & GUILHERME, L. R. G. Nutrição fosfática e micorríza arbuscular na redução da toxicidade de cádmio em trema [*Trema micrantha* (L.) Blum.]. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 783-792, 2007.
- SOARES, N. S. et al. Competitividade da cadeia produtiva da madeira de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 917-928, 2010.
- SOUZA, F. A.; GOMES, E. A.; VASCONCELOS, M. J. V.; SOUSA, S. M. **Micorrizas arbusculares: perspectivas para aumento da eficiência de aquisição de fósforo (P) em Poaceae (gramíneas)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.
- SOUZA, R. G., MAIA, L. C., SALES, M. F., & TRUFEM, S. F. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 26, n. 1, p. 49-60, 2003.
- SOUZA, V. C. D., SILVA, R. A. D., CARDOSO, G. D., & BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.
- STEFFEN, R. B. et al. Micorrização das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden comercializadas no município de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 25-35, 2010.
- VARNA, A. **Mycorrhiza manual**. Springer lab manual. Berlin, GER. 1998.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (Ed.). Produção de mudas de eucalipto. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2010. il. color. p. 13-47.
- WU, L. F. et al. Efeito da adição de zeólita e vermiculita na lixiviação de potássio do solo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 1, p. 57-68, 2013.

6. DISCUSSÃO GERAL

A cultura do eucalipto representa a maior parte da produção brasileira de derivados de madeira, com crescimento anual em produção de arvores e grande demanda por mudas de qualidade e fertilizantes. A proposta de utilização das águas residuárias da suinocultura tem surgido como uma alternativa de fertilizante para cultivos agrícolas, além de apresentar um destino para esse resíduo que apresenta grande potencial contaminante no solo (DIESEL et al. 2002).

Os fertilizantes organomineral (FOM) e organomineral remineralizador (FOMREMS) possibilitam resultado semelhante ao fertilizante mineral (FM) no crescimento em altura, diâmetro de colo e número de folhas, massa seca de folhas e volume radicular de mudas de *E. grandis* formadas para futuro transplante a campo (Experimento 1). Os diferentes isolados de fungos micorrízicos utilizados no mesmo trabalho, apresentaram resultados similares para as variáveis analisadas, na altura de plantas que foi influenciada positivamente pela inoculação com *Suillus cothurnatus* (UFSC-SU118), apesar de que o isolado de *Pisolithus microcarpus* (UFSC-PT116) foi quem apresentou os maiores percentuais de colonização radicular. O desempenho dos isolados fúngicos não está totalmente elucidado para as espécies de interesse florestal, devido as grandes especificidades do hospedeiro-fungo e as condições ambientais dos sistemas de cultivo (BALOTA & LOPES, 1996; MORREIRA & SIQUEIRA, 2006).

O fertilizante organomineral remineralizadores (FOMREMS) e o fertilizante organomineral (FOM) foram superiores ao fertilizante mineral (FM) no crescimento em altura de plantas, área foliar e acúmulo de massa seca na parte aérea de mudas de *E. grandis* cultivadas (Experimento 2), devido a liberação lenta dos seus nutrientes, característica favorável para espécies florestais (PELLISSARI et al, 2009). O fertilizante remineralizador (FM+REMS) apresentou as menores médias para o desenvolvimento das plantas, o que segundo Prates et al (2012) é devido a sua baixa disponibilidade de nutrientes a curto prazo, relacionando a granulometria de suas partículas e a natureza de seus nutrientes. A inoculação com *Pisolithus microcarpus* promoveu o acúmulo de fósforo nas raízes para o fertilizante organomineral (FOM) e organomineral remineralizador (FOMREMS) em teores altos de P no fertilizante, enquanto no FOMREMS mais a micorrização promoveram o acúmulo de fósforo na parte aérea em teores baixos deste nutriente no fertilizante. Nesse caso é possível que a ectomicorriza tenha apresentado efeito nos tratamentos por promover a solubilização e aumento da absorção de P

pela planta, pela ação enzimática do fungo sobre o nutriente presente no solo e nos fertilizantes (GRIFFITH & CALDWELL, 1992).

Conforme os resultados dos experimentos 1 e 2, realizou-se o trabalho 3, onde a partir disso foi determinado o uso do isolado ectomicorrízico UFSC-PT116 para produção dos inoculantes devido à sua grande associação com as raízes, quando comparado aos demais isolados. Os diferentes inoculantes não diferiram entre si para os substratos utilizados na sua produção, mas apresentaram correlação da temperatura com o tempo de armazenamento, reduzindo a colonização micorrízica conforme o mesmo avançava. A temperatura de armazenagem de 4°C foi o que apresentou a melhor colonização, entretanto a menor redução do percentual foi observada para o material mantido a 25°C, quando comparado desde o início até os 60 dias. Esse comportamento está relacionado com a faixa ideal de desenvolvimento do fungo, que fica muito próxima dessa temperatura de armazenagem (FARIA et al., 2017). O tempo de armazenamento do inóculo ainda apresentou efeito de redução sobre a altura de plantas, diâmetro do colo, massa seca de plantas e número de folhas das mudas inoculadas, esse efeito pode estar relacionado com a colonização mais tardia das raízes pela degradação do inóculo, e as dificuldades de estabelecer relações simbióticas (POYU-ROJAS et al., 2006).

Orienta-se o desenvolvimento de estudos que possam investigar os efeitos dos fertilizantes organomineral remineralizadores a longo prazo em cultivos florestais, com estabelecimento de associação com mais espécies de fungos micorrízicos, para que possa evidenciar-se outros isolados fúngicos eficientes e potencialmente utilizáveis como inóculo, além de novas formas de inoculação nas mudas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fertilizantes organomineral (FOM) e organomineral remineralizador (FOMREMS) não diferiram do fertilizante mineral (FM) no crescimento de mudas de *E. grandis*, formadas para posterior transplante, indicando com substitutos eficientes para a fertilização em viveiro. Os diferentes isolados micorrízicos apresentaram o mesmo efeito para as variáveis do crescimento das mudas, contudo apenas o isolado UFSC-SU118 foi superior aos demais na altura de plantas.

O trabalho apresentou evidências em favor da hipótese, de que os fertilizantes organomineral (FOM) e organomineral remineralizador do solo (FOMREMS), promovem maior desenvolvimento das plantas de *Eucalyptus grandis* após o transplante. Nesse caso é possível que esses fertilizantes apresentem efeito residual de fertilização prolongado, pela decomposição e liberação dos seus nutrientes pelos microrganismos do solo, o que diminui as perdas por lixiviação, e favorece o crescimento de *E. grandis* quando comparado ao uso de fertilizantes minerais (FM). A micorrização com *Pisolithus microcarpus* foi eficiente para o acúmulo de fósforo nas raízes, principalmente em plantas cultivadas com o fertilizante remineralizador do solo (FM+REMS).

Os resultados indicaram que os diferentes materiais utilizados para produção de inoculante do fungo *Pisolithus microcarpus* (UFSC-PT116), não apresentaram efeito sobre a colonização final das raízes pela ectomicorriza, entretanto, são pouco eficientes em manter viáveis os propágulos vegetativos do fungo com percentual de colonização ao longo do tempo. A temperatura de armazenamento dos inoculantes influenciou a colonização das raízes de *Eucalyptus grandis*, onde todas (4°, 15°±1° e 25°C) apresentaram redução aos 60 dias.

Apesar dos resultados positivos provenientes da utilização dos fertilizantes formulados a partir de águas residuárias da suinocultura e dos remineralizadores do solo nos trabalhos conduzidos até o momento, ainda são poucas as informações quanto ao seu uso e benefícios a longo prazo nos cultivos florestais. Desse modo é importante a elaboração de trabalhos buscando encontrar os efeitos a longo prazo dos fertilizantes alternativos e a produção de inoculantes micorrízicos para o emprego em larga escala nos cultivos de Eucalipto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABISOLO, 2010. **Plano Nacional de Biomassa**. 44ª Reunião da Câmara Temática de Insumos Agropecuários – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Palestra técnica, 16 novembro, 2009. Brasília-DF.

MELLO, A. H. de et al. Fungos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 293-301, 2006.

IWAKIRI, S. et al. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas OSB. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.

HIGA, R. C. V.; STURION, J. A. Capacidade de brotação em subgêneros e espécies de *Eucalyptus*. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Serie Técnica IPEF, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 23-30, maio 1997., 1997.

ALMEIDA, A. N. Comparação entre a competitividade do Brasil e Canadá para produção de madeira serrada. Curitiba, 209 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2010.

ALVES, João Rogério et al. Efeito de inoculante ectomicorrízico produzido por fermentação semissólida sobre o crescimento de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 307-313, 2001.

AMA. Associação dos Misturadores de Adubo do Brasil. **Dados Fertilizantes e cenários globais**. 2019.

BALOTA, E. L. MACHINESKI, O. STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.

BARNETT, J.P. Relating seedling morphology and physiology of container-grown southern pines to field success. Separata de: CONVENTION OF THE SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS (1983: Portland). Proceedings. New Orleans: USDA. For. Serv. Southern Forest Experiment Station., p.405-409, 1983.

BARROSO, Deborah Guerra; CARNEIRO, José Geraldo de A.; LELES, Paulo Sérgio dos S. Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes substratos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. único, p. 238-250, 2012.

BATISTA, R. O., MARTINEZ, M. A., PAIVA, H. N. D., BATISTA, R. O., & CECON, P. R. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 127-135, 2014.

BENITES, V. D. M., CORREA, J. C., MENEZES, J. F. S., & POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: workshop internacional y taller nacional valorización de residuos, oportunidad para la innovación, 2013, Pucón, Chile. Anais... Chile: CIDGRO, 2013., 2013

- BERUDE, M. C. et al. Micorrizas e sua importância agroecológica. Enciclopédia **Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 132, 2015.
- BOLAND et al. Forest trees of Australia. Melbourne: CSIRO 5: 736p. 2006.
- BROOKER MIH, KLEINIG DA. FIELD guide to Eucalyptus, 2nd edition, volume 3, Melbourne, **Australia: Bloomings Books**. 2004
- BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B. **Working with mycorrhizal in forestry and agriculture**. Canberra: ACIAR, 1996. 400p.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CARVALHO, A. D. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. 2012. 116p. 2012. Tese de **Doutorado**. Tese de doutorado-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CARVALHO, D. ROSADO, S. C. S. SOUZA, A. M. OLIVEIRA, A. F. Produção de culturas monocrióticas e compatibilidade sexual intra e interpopulacional para o fungo ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius*. **CERES**, v.3, n.1, p. 143-160, 1997.
- COSTA, M. D. et al. Ectomicorrizas: a face oculta da floresta. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, n.29.p.38-46, 2003.
- CRUZ, C. A. F., PAIVA, H. N. D., & GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 537-546, 2006.
- DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Porto Alegre: Emater, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Tecnologia Florestal. Embrapa Florestas. **Perguntas e respostas**. Org. PENTEADO, J. Colombo-PR. 2019
- FARIA, A. B. C. et al. Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2017.
- GARBAYE, J. Utilisation des mycorhizes en sylviculture. In: STRULLU, D. G. (Ed.). **Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées**. Paris: Lavoisier, 1990. p. 197-250.
- GOMES, J. M., COUTO, L., BORGES, R. C. G., & FONSECA, E. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em “Win-Strip”. **Revista árvore**, v. 15, n. 1, p. 35-42, 1991.
- GOMES, J. M., COUTO, L., LEITE, H. G., XAVIER, A., & GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GRIFFITHS, R.P. CALDWELL, B.A. Mycorrhizal mat communities in forest soils. **Mycorrhizas in Ecosystems**. eds READ, D.J. LEWIS, D.H. FITTER, A.H. ALEXANDER, I. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 1992.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 11-36, 2000.

IBÁ – Industria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2015**. Brasília, DF. 1 ed. 2016.

KEINERT JUNIOR, S. **Laminação, produção e testes de compensados a partir de *Eucalyptus spp.*** Relatório de pesquisa apresentado ao CNPq. Curitiba, 1994, 93 f. 1985

KUNZ, A., HIGARASHI, M. M., & DE OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LIMA, C C. MENDONÇA, E. S. SILVA, I. R. ROIG, L. HM. S. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral / Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel composto com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , vol. 13, n. 3, 2009, p. 334

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA no 5**, 10/03/2016. Publicada no DOU de 14/03/2016.

MATOS, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. **Viçosa, MG: AEAGRI**, v. 140, 2007. 142 p.

MELLO, A. H. D., KAMINSKI, J., ANTONIOLLI, Z. I., SANTOS, L. C. D., SOUZA, E. L. D., SCHIRMER, G. K., & GOULART, R. M. Influência de substratos e fósforo na produção de mudas micorrizadas de *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 321-327, 2008.

MOLINA, R. PALMER, J.G. Isolation, maintenance, and pure culture manipulation os ectomycorrhizal fungi. In: SCHENCK, N.C. (Ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1982. p. 115-129.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C.. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, 2002.

MORREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos. 1.ed. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2004. 17p.

OLIVEIRA, V.L.; GIACHINI, A.J. Ecologia e aplicação de ectomicorrizas. In: Siqueira, J.O. (Coord.). Inter-relação fertilidade: **biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999, p.775-796.

ORRICO JÚNIOR, M. A., ORRICO, A. C., & LUCAS JÚNIOR, J. D. Compostagem da fração sólida da água residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 483-491, 2009.

PELLISSARI, R. A., SAMPAIO, S. C., GOMES, S. D., & CREPALLI, M. D. S. Lodo têxtil e água residuárias da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (W, Hill ex Maiden). **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 288-300, 2009.

PIO, N. S. Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Tese de doutorado. Pós-graduação em . UFPR. 2002.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D.. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 413-424, 2006.

PRA, M. A. D.; CORRÊA, E. K.; ROLL, V. F. B.; XAVIER, E. G. Compostagem de Dejetos de Suínos. **Revista Tecnológica**, v.12, n.1, p28-32, 2008

PRATES, F. B. de S. et al. Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 207-213, 2012.

PRYOR, L. D. Aspectos da cultura do eucalipto no Brasil. **IPEF, Piracicaba**, n. 213, p. 53-59, 1971.

QUEIROZ, L. R; BARRICHELO, L. E. G. **Eucalipto, um século no Brasil**. São Paulo – Brasil. 2007.

REVOLTI, Paola Mazza. Caracterização morfológica de um mutante em *Eucalyptus*. **Tese de doutorado**. Pós-Graduação em Ciências Biológicas. UEP Julio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo. 2015.

RICO, J. L.; GARCIA, H.; RICO, C.; TEJERO, I. Characterization of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production. **Bioresource Technology**, v.98, n.5, p.971-979, 2006.

RODRIGUES, L. A., BARROSO, D. G., & DE ASSIS FIQUEIREDO, F. A. M. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018.

ROSSI, M. J. Tecnologia para produção de inoculantes de fungos ectomicorrízicos utilizando cultivo submerso em biorreator airlift. Tese de doutorado. Pós-graduação em engenharia química. UFSC. Florianópolis. 2006.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; LOVATO, P. E. **Aplicação de micorrizas arbusculares na produção de mudas e plantas micropropagadas**. In: Siqueira, J. O. (Org.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. 818p.

SANTANA, A. S. Produção de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares. **Tese de doutorado**. Universidade Federal do Pernambuco. Recife. 2014.

SANTOS, L. D.; MAYERLE, S. F.; CAMPOS, L.M. DE S. Tecnologias e sistemas de tratamento para os dejetos da suinocultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 12-18, 2014.

SCHIAVO, J. A., MARTINS, M. A., & RODRIGUES, L. A. Crescimento de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava-de-extração de argila. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 171-178, 2010.

SERRÃO, B. O.; DE CARVALHO, C. José R.; DUTRA, F. C. Influência da seca prolongada sobre a atividade enzimática e micorrizas em floresta de terra firme: resultados de um experimento de manipulação de chuvas. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PET, 2., 2007, Belém, PA. Iniciação científica e a formação profissional: anais. Belém, PA: PROEN/UFRA, 2007., 2007.

SILVA et al. Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 323-330, 2015.

SILVA, A., DE ALMEIDA, J. A., SCHMITT, C., & COELHO, C. M. M. Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 69-76, 2012.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic, 1997. 605 p.

SOARES, C. R. F. S., SIQUEIRA, J. O., CARVALHO, J. G. D., & GUILHERME, L. R. G. Nutrição fosfática e micorriza arbuscular na redução da toxicidade de cádmio em trema [*Trema micrantha* (L.) Blum.]. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 783-792, 2007.

SOARES, N. S. et al. Competitividade da cadeia produtiva da madeira de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 917-928, 2010.

SOUZA, E. L., ANTONIOLLI, Z. I., MACHADO, R. G., ECKHARDT, D. P., DAHMER, S. D. F. B., & SCHIRMER, G. K. Efeito da inoculação com isolados de fungos ectomicorrízicos sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 251-261, 2012.

SOUZA, F. A.; GOMES, E. A.; VASCONCELOS, M. J. V.; SOUSA, S. M. **Micorrizas arbusculares: perspectivas para aumento da eficiência de aquisição de fósforo (P) em Poaceae (gramíneas)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

SOUZA, F. N. S. et al. efeitos de um remineralizador de solos (biotita-xisto) na produção de duas variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 12, p. 45-59, 2016.

SOUZA, V. C. de et al. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

STEFFEN, R. B., ANTONIOLLI, Z. I., STEFFEN, G. P. K., & ECKHARDT, D. P. Micorrização das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden comercializadas no município de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 25-35, 2010

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Características da epiderme foliar de eucalipto e seu envolvimento com a tolerância ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 513-520, 2006.

VARNA, A. **Mycorrhiza manual**. Springer lab manual. Berlin, GER. 1998.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, v. 14, n. 28, dez. 2007.

WEIRICH, S. W. Eucalipto e ectomicorrizas para fitorremediação de solos contaminados com zinco. Dissertação de **mestrado**, programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente. UFSM. 2013. 97 p.