

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS
VEGETAIS

SHANTAU CAMARGO GOMES STOFFEL

**INOCULANTE MICORRÍZICO A BASE DE *Rhizophagus*
intraradices NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE
CULTURAS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Roberto Fonseca Sousa Soares

Co-orientador: Prof. Dr. Admir José Giachini.

Florianópolis, SC
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Stoffel, Shantau Camargo Gomes Stoffel
INOCULANTE MICORRÍZICO A BASE DE Rhizophagus
intraradices NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE CULTURAS
DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA / Shantau Camargo Gomes
Stoffel Stoffel ; orientador, Cláudio Roberto
Fonsêca Sousa Soares, coorientador, Admir José
Giachini, 2019.
114 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos
Vegetais, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. micorriza
arbuscular. 3. inoculantes na agricultura. 4.
Rootella BR. 5. produção agrícola . I. Roberto
Fonsêca Sousa Soares, Cláudio . II. José Giachini,
Admir. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos
Vegetais. IV. Título.

Inoculante micorrízico a base de *Rhizophagus intraradices* no crescimento e nutrição de culturas de importância agrícola

por

Shantau Camargo Gomes Stoffel

Dissertação julgada e aprovada em 21/02/2019, em sua forma final, pelo Orientador e membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração Recursos Genéticos Vegetais, no Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, CCA/UFSC.

Banca Examinadora:



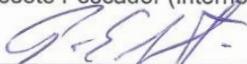
Prof. Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares (Presidente-CCA/UFSC)



Prof. Dr. Sidney Luiz Stürmer (Externo - FURB/SC)



Profª. Drª. Rosete Pescador (Interno - CCA/UFSC)



Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato (Coordenador do Programa)

Florianópolis, fevereiro de 2019

*Dedico este trabalho à meus
amigos, recentes e antigos,
próximos e distantes, mas
em especial ao mais
verdadeiro deles, Will.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Claudio R. F. S. Soares pelos oito anos de orientação, me ensinando muito durante essa caminhada, por sua infinita paciência e grande amizade regada a risadas.

Ao meu co-orientador professor Admir J. Giachini, tão importante quanto meu orientador na minha trajetória pela UFSC, e que também se tornou um grande amigo.

Aos meus pais, por todo amor dedicado a mim e por serem meus principais exemplos de gentileza, dedicação e educação com tudo e com todos.

Ao meu companheiro Willian A. Suguino, que sempre apoiou e incentivou minhas escolhas. Obrigada por dedicar seu amor, carinho e atenção a mim, sem você não seria possível.

Agradeço a toda minha família que mesmo de longe nunca esteve tão próxima, e comemora toda nova conquista.

Aos professores Márcio, Rubens e Lovato, aos meus queridos estagiários, e todos os colegas de laboratório que me acompanharam nessa aventura, o que aprendi com eles fará parte de mim para sempre.

Aos meus colegas da mesinha do CCA, que fizeram os dias da minha graduação muito alegres. Em especial ao Ednilson, até hoje parceiro das tarefas diárias da pesquisa.

Ao Pedro, Dydys e Muka por toda amizade e incentivo, juntos desenvolvemos conversas muito produtivas que ajudaram na minha evolução como pessoa.

Aos meus colegas do Softball, pois não sei o que seria da minha vida sem os amigos que esse esporte me apresentou e experiências que proporcionou.

A toda equipe da NovaTero pela parceria neste e em muitos outros trabalhos desenvolvidos nesses anos.

Aos Laboratório de Certificação de Mudas e Ecofisiologia, LAMEB, e Laboratório de Solos por disponibilizarem espaço e equipamentos primordiais para o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos os professores e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da UFSC pela oportunidade de realizar meu mestrado em um programa de excelência.

Aos órgãos CAPES e à FAPESC, fontes financiadoras das bolsas obtidas para a realização do mestrado.

RESUMO

A utilização de inoculantes é uma prática comum na agricultura brasileira, porém o surgimento de inoculantes micorrízicos arbusculares comerciais no mercado exigem estudos para comprovar sua eficiência. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e o estado nutricional de nove espécies de plantas de importância agrícola (soja (*Glycine max*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), algodão (*Gossypium hirsutum*), milho (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), girassol (*Helianthus annuus*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), pinus (*Pinus taeda*) e eucalipto (*Eucalyptus dunnii*)) empregando o inoculante micorrízico comercial à base de *Rhizophagus intraradices* em solo não esterilizado. Para isso, foram realizadas avaliações em três coletas ao longo do crescimento vegetal. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2 (com e sem aplicação do inoculante) e duas concentrações de P (50 e 100 % da recomendação) com quatro repetições. As avaliações foram: colonização micorrízica, produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) e total (MST), teor e acúmulo de P. A interpretação dos resultados sugerem que o inoculante micorrízico aumentou a colonização micorrízica das plantas, principalmente para as culturas de algodão, milho e soja. A inoculação proporcionou acréscimos na produção de MST de 130 % no algodão, 59 % na cana-de-açúcar, e 18 e 43 % na biomassa MSR do girassol e milho, respectivamente. Enquanto isso, as plantas de soja, feijão, trigo, eucalipto e pinus, foram pouco responsivas à inoculação. O acúmulo de P nos tratamentos inoculados foi significativamente maior em algodão, cana-de-açúcar, girassol, milho e trigo, com acréscimos variando de 45 a 170 %. Comparando-se os efeitos da inoculação com os tratamentos de adubação fosfatada empregados em cultivos agrícolas, pode-se afirmar que as culturas do algodão, cana-de-açúcar, milho e girassol são as mais responsivas e apresentam potencial para serem testadas quanto à eficiência agronômica a campo.

Palavras-chave: micorriza arbuscular; inoculantes na agricultura; Rootella BR; produção agrícola

ABSTRACT

The use of inoculants is a common practice in Brazilian agriculture. However, the emergence of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants in the market requires studies to assure their proper efficiency. Thus, the objective of this work was to evaluate the growth and nutritional status of nine plants of agricultural/forestry importance: soybean (*Glycine max*), beans (*Phaseolus vulgaris*), cotton (*Gossypium hirsutum*), maize (*Zea mays*), wheat (*Triticum aestivum*), sunflower (*Helianthus annuus*), sugarcane (*Saccharum officinarum*), pinus (*Pinus taeda*) and eucalyptus (*Eucalyptus dunnii*) using a commercial mycorrhizal inoculant based on the fungal mycorrhizal species *Rhizophagus intraradices* on non-sterilized soil. For this, evaluations were carried out in three harvests along plant growth. The experiments were conducted in a greenhouse in a completely randomized 2 x 2 factorial design (with and without inoculant application) and two P concentrations (50 and 100 % of the recommendation) with four replicates. The evaluations were: mycorrhizal colonization, shoot dry matter (MSPA), root dry matter (MSR) and total dry matter (MST) yield, content and accumulation of P. The experiments demonstrated that the inoculant increased the percentage of mycorrhizal colonization of the plants, mainly for cotton, corn and soybean. The inoculation provided increases of 130 % for MST in cotton, 59 % in sugarcane, and 18 and 43 % in MSR of sunflower and corn, respectively. Meanwhile, the soy, bean, wheat, eucalyptus and pinus plants were not so responsive to inoculation. The accumulation of P in inoculated plants was significantly higher in cotton, sugarcane, sunflower, corn and wheat, with increases varying from 45 to 170 %. Comparing the effects of inoculation with the treatments of phosphate fertilization used in agricultural crops, cotton, sugar cane, corn and sunflower are the most responsive crops and have the potential to be tested for agronomic efficiency in the field.

Keywords: arbuscular mycorrhizae, agricultural inoculants, Rootella BR, agricultural yield

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação para mesma dose de P.....38
- Figura 2. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação.....39
- Figura 3. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.39
- Figura 4. Produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.40
- Figura 5. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.41
- Figura 6. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.42
- Figura 7. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.43
- Figura 8. Percentual de colonização micorrízica da 1^o e 2^o coleta da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada

	de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação para a mesma dose de P.	44
Figura 9.	Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1 ^o coleta da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) com e sem inoculante a base de <i>R. intraradices</i> em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.	45
Figura 10.	Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2 ^o coleta da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) com e sem inoculante a base de <i>R. intraradices</i> em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.	46
Figura 11.	Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1 ^o coleta da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) com e sem inoculante a base de <i>R. intraradices</i> em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.	47
Figura 12.	Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2 ^o coleta da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) com e sem inoculante a base de <i>R. intraradices</i> em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.	48
Figura 13.	Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1 ^o coleta do eucalipto (<i>Eucalyptus dunnii</i>) com e sem inoculante a base de <i>R. intraradices</i> em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.	49
Figura 14.	Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2 ^o coleta do eucalipto (<i>Eucalyptus dunnii</i>) com e sem inoculante a base de <i>R. intraradices</i> em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.	50

- Figura 15. Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.51
- Figura 16. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.52
- Figura 17. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado);(*)efeito significativo da inoculação; letras diferentes indicam efeito significativo para dose de P.53
- Figura 18. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras diferentes indicam efeito significativo para dose de P.54
- Figura 19. Percentual de colonização micorrízica da 1ª e 2ª coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação.55
- Figura 20. Produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR), número e PS dos nódulos radiculares e vagens da 1ª coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.56
- Figura 21. Produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR), número e PS dos nódulos radiculares e vagens da 2ª coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.57

- Figura 22. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1° coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....58
- Figura 23. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2° coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....59
- Figura 24. Percentual de colonização micorrízica da 1°, 2° e 3° coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação.....61
- Figura 25. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1° coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....62
- Figura 26. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2° coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....62
- Figura 27. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3° coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....63
- Figura 28. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1° coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....64
- Figura 29. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2° coleta do girassol (*Helianthus*

- annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.65
- Figura 30. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3^o coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.66
- Figura 31. Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação. ns: não significativo.68
- Figura 32. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.69
- Figura 33. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.69
- Figura 34. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.70
- Figura 35. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.71
- Figura 36. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA

- (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....72
- Figura 37. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....73
- Figura 38. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR), teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) do pinus (*Pinus taeda*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....74
- Figura 39. Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P; ns: não significativo.....76
- Figura 40. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....77
- Figura 41. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....78
- Figura 42. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....79
- Figura 43. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.....80

- Figura 44. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2° coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.81
- Figura 45. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3° coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.82
- Figura 46. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1° coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.83
- Figura 47. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2° coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.84
- Figura 48. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3° coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.85
- Figura 49. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1° coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.86
- Figura 50. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2° coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.87
- Figura 51. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3° coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo

50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Balanço do volume de produtos fosfatados voltados para a indústria de fertilizantes no Brasil.....	25
Tabela 2. Dias de cultivo, variedades utilizadas, produtividade esperada e recomendação de adubação (NPK) para cada cultura.	33
Tabela 3. Análise química e física do solo coletado em área de empréstimo. ...	34
Tabela 4. Acréscimo percentual dos tratamentos inoculados (com 50 e 100 % da adubação recomendada) sobre o tratamento não inoculado com 100 % da adubação fosfatada. MS = matéria seca; Col.= colonização; Pac= fósforo acumulado.	95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	25
2. HIPÓTESE	29
3. OBJETIVOS.....	31
3.1 OBJETIVO GERAL.....	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1 <i>Tratamentos e delineamento experimental.....</i>	33
4.2 <i>Avaliações</i>	35
4.3 <i>Análises Estatísticas</i>	35
5. RESULTADOS	37
5.1 <i>Algodão (BRS-Buriti)</i>	37
5.2 <i>Cana-de-açúcar (RB966928)</i>	44
5.3 <i>Eucalipto (PSM WestRock).....</i>	49
5.4 <i>Feijão (pérola)</i>	55
5.5 <i>Girassol (Multisol)</i>	60
5.6 <i>Milho (Morgan 20A50)</i>	67
5.7 <i>Pinus (PCS WestRock).....</i>	74
5.8 <i>Soja (Tornado 6863).....</i>	75
5.9 <i>Trigo (TBIO Sinuelo)</i>	83
6. DISCUSSÃO.....	89
7. CONCLUSÕES	99
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Brasil é um importante produtor agrícola, com aproximadamente 9,0 % da sua área territorial destinada à agricultura, sendo 7 % apenas para grãos como soja, milho, feijão e algodão. É o segundo maior produtor mundial de soja (30 % da produção mundial de óleo, alimento e ração animal) e responsável por mais de 30 % da produção mundial de cana-de-açúcar, destinados em grande parte, à produção de etanol e açúcar, além de plantar outros produtos madeireiros como o pinus e eucalipto (MAPA, 2017).

O sistema de produção agrícola predominante no Brasil exige um grande aporte de insumos, o que inclui corretivos de solo, agrotóxicos e fertilizantes, entre eles os adubos fosfatados. Na agricultura o fósforo pode ser um nutriente limitante para o crescimento das culturas e, por isso, aplicações frequentes de fertilizantes à base de fósforo podem ser necessárias (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Entre os insumos de ampla utilização estão os fertilizantes minerais fosfatados. O principal insumo da indústria de fertilizantes fosfatados é a rocha fosfática, e apenas três países são responsáveis por 73 % da extração mundial (China, Estados Unidos e Marrocos), sendo o Brasil responsável por apenas 3 % do total (BRASIL, 2016). O Brasil não é autossuficiente na produção de adubos fosfatados e depende em grande parte da importação para suprir sua demanda interna (tabela 1). Entre os produtos importados estão o concentrado de rocha fosfática, o ácido fosfórico e produtos intermediários já processados.

Tabela 1 Balanço do volume de produtos fosfatados voltados para a indústria de fertilizantes no Brasil

Principais estatísticas (2014)	Produção	Importação	Exportação	Consumo
Concentrado (bens primários) / (10^3 t)	6.513	1.752	701	7.564
Ácido Fosfórico (produto) / (10^3 t)	2.313	155	25	2.443
Produtos Intermediários* / (10^3 t)	6.762	7.875	698	13.939

^(*) fosfato monoamônico - MAP, fosfato diamônico - DAP, SS, SD, TSP, ST - termofosfato, NPK, PK, NP e outros. Adaptado de Brasil (2016)

O fósforo é um elemento limitante para o crescimento e produtividade das plantas e, no geral, os solos brasileiros tem baixa disponibilidade, fazendo com que a adubação fosfatada seja uma prática comum para suprir essa deficiência (MACHADO e SOUZA, 2012). A baixa disponibilidade de P tem origem na natureza química desse elemento, uma vez que o P inorgânico presente nos solos tem baixa

solubilidade em água e forte interação com as partículas de argila (KLEIN e AGNE, 2012). Essas partículas possuem óxidos de ferro e alumínio normalmente de carga positiva, que se ligam ao P reduzindo a disponibilidade na solução do solo para as plantas, dessa maneira, os teores de argila nos solos também influenciam na disponibilidade de P (MACHADO e SOUZA, 2012). A resistência mecânica de solos compactados também reduz a absorção de P por dificultar a penetração das raízes no solo, já que a movimentação de P se dá principalmente por difusão. Por esses, entre outros motivos, a recomendação de adubos fosfatados normalmente excede as necessidades das culturas (CALDAS e CASTELÕES, 2017), acumulando P nas camadas superficiais do solo.

Apesar da baixa disponibilidade no solo, o P pode se tornar um elemento poluidor em elevadas concentrações. Além da adubação química, outras fontes de P, como o esgoto doméstico, a fertirrigação com dejetos suínos e resíduos industriais (CABRAL et al., 2011; PRIOR et al., 2009) aumentam as concentrações de P nas camadas superficiais do solo, intensificando o potencial poluidor desse elemento por erosão, carregando P para corpos hídricos próximos dessas áreas. O excesso de P nos corpos hídricos pode resultar na eutrofização, estimulando o crescimento de algas, cianobactérias, consumo do oxigênio, e o excesso de matéria orgânica, culminando na morte de peixes e outros animais. Por esse motivo, a resolução no 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA, estabelece níveis críticos de P total em corpos hídricos, definindo os valores dos grupos químicos de fósforo de acordo com as classes correspondentes de água doce.

Na natureza existem microrganismos capazes de solubilizar, até mesmo captar nutrientes do solo para as plantas, e muitos são mutualistas, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (SMITH e READ, 2008). Os FMA são simbioses obrigatórios e para completar seu ciclo de vida precisam estar associados com as raízes (VARMA, 2008). Esses fungos crescem nas células do córtex e lançam suas hifas no solo, formando uma rede de micélio que se comporta como uma extensão das raízes. Esses fungos absorvem água e nutrientes do solo para as plantas (principalmente P), em contrapartida, as plantas fornecem fotoassimilados para os FMA, potencialmente permitindo a redução da utilização de adubos fosfatos sem afetar a produção agrícola. Essas trocas ocorrem em estruturas chamadas arbúsculos, que são ramificações de hifas dentro das células do córtex (VARMA, 2008).

Sabe-se que a inoculação de FMA em plantas pode resultar no aumento da produtividade agrícola. Estudos com *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler

mostram o efeito da inoculação dessa espécie no crescimento de plantas de soja, trigo e tabaco em diferentes condições (ARDAKANI et al., 2011; BIDONDO et al., 2011; MEGHVANSI e MAHNA, 2009; SENA et al., 2014; SPAGNOLETTI e LAVADO, 2015), no geral, favorecendo a nutrição mineral e o crescimento das plantas por diferentes mecanismos.

A rede de hifas formada pelo micélio dos FMA no solo proporciona uma série de modificações químicas, físicas e biológicas que podem beneficiar o crescimento das plantas associadas (SMITH e READ, 2008). A resposta das plantas à presença dos FMA pode variar de mutualista a parasitária em função dos fatores que compõem a estrutura ambiental (KIERS e VAN DER HEIJDEN, 2006). Foram observados efeitos positivos das micorrizas em condições de estresse ambientais (MUNIER-LAMY et al., 2007; TANG et al., 2009), baixa disponibilidade de nutrientes (MARSCHNER e DELL 1994), déficit hídrico, salinidade, acidez (FOLLI-PEREIRA et al., 2012) e sequestro de metais (CORNEJO et al. 2008; GONZÁLEZ-CHÁVEZ et al., 2004; VODNIK et al. 2008).

Esses efeitos também foram observados em trabalhos utilizando isolados de *R. intraradices* em culturas de importância agrícola. A inoculação com *R. intraradices* em soja aumentou a tolerância das plantas hospedeiras a estresses abióticos como a presença de As no solo (SPAGNOLETTI e LAVADO, 2015), apresentou melhorias nos índices de rendimento da soja (MEGHVANSI e MAHNA, 2009) e beneficiou o crescimento com co-inoculação de FMA e bactérias (*R. intraradices* e *Bradyrhizobium japonicum* e *Paenibacillus*) (BIDONDO et al., 2011). Sena et al. (2014) observaram o aumento da velocidade de absorção de P em condições de baixa disponibilidade em tabaco. No trigo, a inoculação com *R. intraradices* e a adubação com esterco conseguiram suprir as principais necessidades nutricionais de macronutrientes (ARDAKANI et al., 2011).

Estão disponíveis no mercado inoculantes à base de fungos micorrízicos arbusculares, podendo ser encontrados na forma granular, líquida, pó seco e solúvel, e indicadas para muitas culturas de importância agrícola como soja, feijão, lentilha, batata, tomate entre outros (MYKE® PRO PRODUCTS, 2017). Uma das espécies de FMA mais encontradas no mercado é *Rhizophagus intraradices* (*Glomus intraradices*) podendo ser puro ou em misturas com *Gigaspora margarita*, *Gi. rósea*, *G. aggregatum*, *G. brasilianum*, *G. clarum*, *G. deserticola*, *G. etunicatum*, *G. macrocarpum*, *G. monosporus*, *G. mosseae*, (HOSPITAL DAS PLANTAS, 2017; CONTROL BIO, 2017;

ORQUIDÁRIO HORTOLÂNDIA, 2017), além de fungos ectomicorrízicos (MYKE[®] PRO PRODUCTS, 2017) e bactérias fixadoras de nitrogênio (AGTIV[®]. WITH AGTIV[®] DUAL INOCULANT PRODUCTS, 2017).

Até o momento, existe no Brasil apenas um inoculante a base de fungo micorrízico arbuscular comercializado em larga escala que possui registro junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de nome comercial Rootella BR (registrado sob n^o 22902 10000-0) e tem como base propágulos da espécie de FMA *R. intraradices*. Os testes a campo para comprovação da eficiência agrônômica do produto para as culturas de milho e soja foram realizados no ano de 2016 em seis estados do Brasil, em uma parceria entre a empresa NovaTero de Joinville-SC e o Laboratório de Microbiologia e Processos Biotecnológicos da UFSC Florianópolis-SC, seguindo as instruções normativas definidas pelo MAPA.

Os FMA apresentam um potencial tecnológico para aplicação na agricultura, porém sua natureza biotrófica obrigatória torna o processo de produção de um produto comercial lento e custoso. Dessa forma, estudos para acompanhar o comportamento de inoculantes formulados com espécies de FMA em plantas agrícolas são importantes para elucidar os efeitos desses microrganismos, e apresentar novas alternativas de insumos biológicos para a agricultura, principalmente para as culturas produtoras de grãos.

2. HIPÓTESE

O inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* favorece o crescimento vegetal e aumenta a absorção de nutrientes em solo não esterilizado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento e o estado nutricional de plantas de importância agrícola empregando o inoculante micorrízico à base *Rhizophagus intraradices* em solo não esterilizado.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Avaliar o efeito do inoculante micorrízico em combinação com a adubação fosfatada sobre a altura e produção de biomassa das culturas de algodão, cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, girassol, milho, pinus, soja e trigo.

b) Avaliar o efeito do inoculante micorrízico na absorção de fósforo pelas plantas;

c) Avaliar o padrão da colonização micorrízica após a aplicação do inoculante.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Tratamentos e delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Laboratório de Microbiologia do Solo no Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia da Universidade Federal de Santa Catarina (MIP/CCB-UFSC).

Foram avaliadas nove culturas de importância agrícola: soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L.), milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), pinus (*Pinus taeda* L.) e eucalipto (*Eucalyptus dunnii* Maiden), com etapas, períodos de plantio e coletas apresentados na tabela 2. Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, com dois fatores, a aplicação do inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler e duas doses de adubação fosfatada (50 e 100 % da recomendação de P para cada cultura) com quatro repetições (1 vaso ou tubete por repetição). As quantidades de adubos recomendadas foram calculadas seguindo a recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (MANUAL, 2004) para as culturas da soja, feijão, milho, trigo, girassol e cana-de-açúcar, do trabalho de Gonçalves (1995) para pinos e eucalipto, e do comunicado técnico da Embrapa para adubação do algodoeiro (BORIN et al., 2014).

Tabela 2. Dias de cultivo, variedades utilizadas, produtividade esperada e recomendação de adubação (NPK) para cada cultura.

Cultivar	plantio	Dias de cultivo			Variedade	Produtividade esperada, t ha ⁻¹	Adubação recomendada kg ha ⁻¹		
		1° coleta	2° coleta	3° coleta			P ₂ O ₅	K ₂ O	N
Algodão	02.04.18	65	105	133	BRS - Buruti (2017/18)*	4,0	60	170	120
Cana	18.09.17	110	153	-	RB966928 (2016)	-	120	110	100
Feijao	05.04.18	33	68	-	Feijão pérola (2017/18)	1,5	105	110	-
Girassol	02.03.18	37	76	97	Multisol (2017)	3,0	125	125	80
Milho	02.03.18	39	74	110	Morgan 20A50 (2016/17)	5,0	140	120	90
Soja	11.05.18	39	74	96	Tornado 6863 (2017/18)	3,0	125	150	-
Trigo	13.07.17	46	70	98	TBIO Sinuelo (2016/17)	3,0	125	110	110
							g m ³ solo ⁻¹		
Eucalipto	24.01.18	40	76	104	PSM WestRock	-	300	100	150
Pinus	02.10.17	123	-	-	PCS WestRock	-	300	100	150

* safra das sementes.

O solo foi coletado em uma área de empréstimo com baixa fertilidade natural no município de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil (-27.578016, -48.501443), e foi classificado como Argissolo Vermelho

Amarelo de textura franco arenosa, e as demais características físico-químicas estão discriminadas na Tabela 3. O pH do solo foi corrigido para 6,0 com adição prévia de calcário dolomítico com CaO 24,0%, MgO 17,1 %, poder de neutralização de 84,4 %, PRNT 70,0 % e ação residual de 15,0 %.

Tabela 3. Análise química e física do solo coletado em área de empréstimo.

pH água	SMP	H + Al	P	K	C-org	MO	Ca	Mg	Al	Areia	Argila	Silte
			mg.kg	cmolc.kg	g.Kg	TFSA	cmolc.kg		%			
4,40	5,50	1,36	2,12	1,40	9,06	>2,5	0,74	0,43	1,00	66	9	25

As sementes de pinus foram semeadas em tubetes de 0,06 dm³ e as de eucalipto em tubetes de 0,35 dm³. O trigo, a soja e o feijão foram semeados em vasos de 3,6 dm³, o algodão e o milho em vasos de 8,0 dm³ e os toletes de cana-de-açúcar em vasos de 10 dm³ contendo solo da área de empréstimo não esterilizado e peneirado em malha de 5 mm.

Nos tratamentos inoculados, a semeadura foi precedida pela inoculação das sementes com o produto de nome comercial Rootella BR seguindo a recomendação do fabricante de 120 g produto ha⁻¹. O número de sementes ou toletes e a quantidade de inoculante aplicados foram calculados estimando a área superficial dos vasos de modo a simular a recomendação de aplicação a campo. A inoculação das sementes dos tratamentos inoculados foi realizada de uma vez só em apenas um recipiente, e em seguida foram semeadas nos diferentes tratamentos de adubação fosfatada.

O inoculante à base do fungo micorrízico arbuscular da espécie *Rhizophagus intraradices* continha mais de 2.500 propágulos por grama de produto em uma mistura de vermiculita, argila e partículas não identificadas (respectivamente 82, 6, e 12 %). A comercialização do inoculante à base de *Rhizophagus intraradices* denominado Rootella BR foi autorizada pelo MAPA sob o número de registro 22902 10000-0, sendo recomendado para as culturas de soja, milho, trigo, arroz, feijão, aveia e cevada. O processo empregado na formulação do produto final não pode ser descrito por se tratar de segredo industrial.

As sementes de feijão e soja foram inoculadas com estirpes recomendadas de bactérias fixadoras de nitrogênio, sendo elas a CIAT 899 (*Rhizobium tropici*) para o feijão e uma combinação de SEMIA5079 e SEMIA 5080 (*Bradyrhizobium japonicum*) para soja.

4.2 Avaliações

Foram realizadas de uma a três coletas, dependendo da planta (Tabela 2) com avaliações destrutivas. As variáveis analisadas foram altura, diâmetro do caule ou colmo, produção de biomassa seca das raízes e parte aérea, número e produção de vagens e nódulos radiculares nas plantas que produziam essas estruturas. As raízes, parte aérea, vagens e nódulos radiculares foram separados e secos em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C para mensurar a massa seca do material vegetal.

Amostras de 0,2 g de matéria seca foram submetidas à digestão nitroperclórica e determinação dos teores de P por espectrofotometria (TEDESCO et al., 1995). As quantidades acumuladas de P foram calculadas multiplicando-se o teor desse elemento na parte aérea e raiz, pelas respectivas produções de massa seca. O material seco das vagens da soja e feijão foram misturados à matéria seca da parte aérea para as avaliações nutricionais dos tecidos vegetais.

Amostras de raízes de aproximadamente 2,0 g foram coletadas e submetidas à clarificação e coloração com azul de tripan (KOSKE e GEMMA, 1989) para avaliação da colonização micorrízica seguindo o método de McGonigle et al. (1990) pela identificação de hifas, arbúsculos e vesículas em lâmina e lamínula em aumento de 200x em microscópio óptico.

4.3 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância trifatorial e a comparação de médias realizada pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade utilizando-se o software SISVAR v.5.3 (FERREIRA, 1998). Os dados de percentual de colonização micorrízica foram

normalizados pela transformação (Equação 1):

$$\text{arc coseno} \sqrt{\frac{\%colonização}{100}}$$

5. RESULTADOS

5.1 Algodão (BRS-Buriti)

A colonização radicular do algodão (*Gossypium hirsutum*) (Figura 1) pode ser observada desde a primeira coleta e em todos os tratamentos, com acréscimo de 61 % na colonização total sobre os tratamentos não inoculados. Na primeira coleta pode ser observado o efeito significativo da inoculação na colonização total, por hifas e arbúsculos, onde a produção de arbúsculos foi 142 % maior nas plantas inoculadas com 50 % da recomendação de P do que as não inoculadas e com 100 % da recomendação de P, e um aumento de 122 % na formação de vesículas em função da maior dose de P também foi observado na terceira coleta nas plantas não inoculadas.

O crescimento do algodão (Figura 2) foi significativamente estimulado pelo uso do inoculante na primeira coleta, com acréscimos de 53, 136, 145 e 105 % na altura, produção de matéria seca total (MST), de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), respectivamente, não sendo observados efeitos significativos das diferentes doses de P aplicadas ao solo.

Na segunda coleta não foram constatados efeitos significativos em nenhuma das variáveis de crescimento analisadas (Figura 3).

Na terceira coleta o efeito do uso do inoculante é observado no aumento da produção de MST (Figura 4), estimulada principalmente pela produção de MSPA, com acréscimos de 52 e 53 %, respectivamente, sobre as plantas não inoculadas.

Figura 1 Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação para mesma dose de P.

Colonização micorrízica

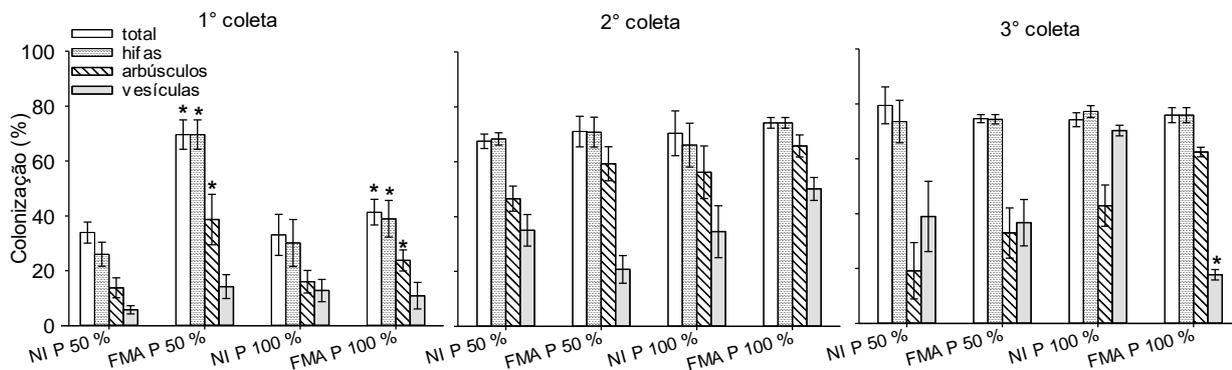


Figura 2. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação.

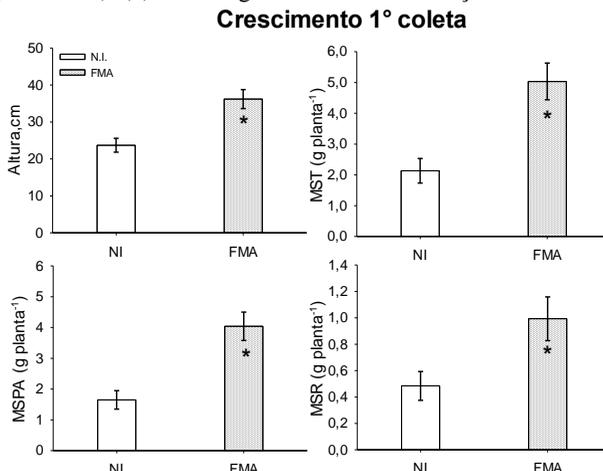


Figura 3. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

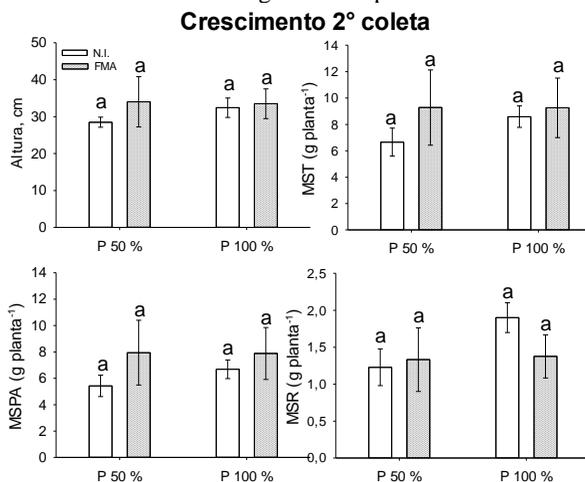
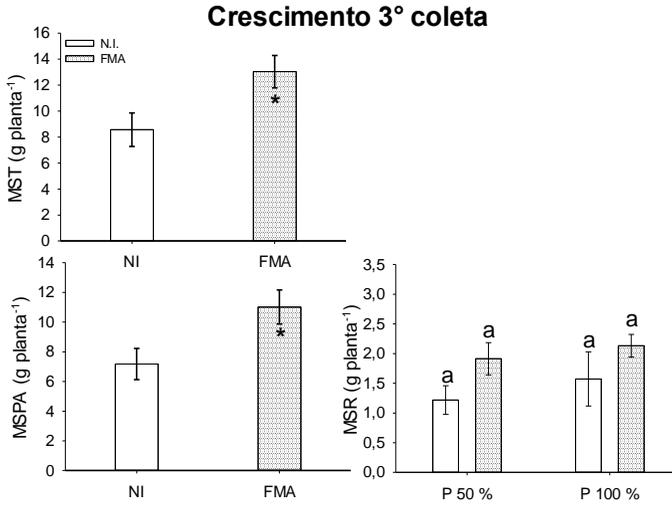
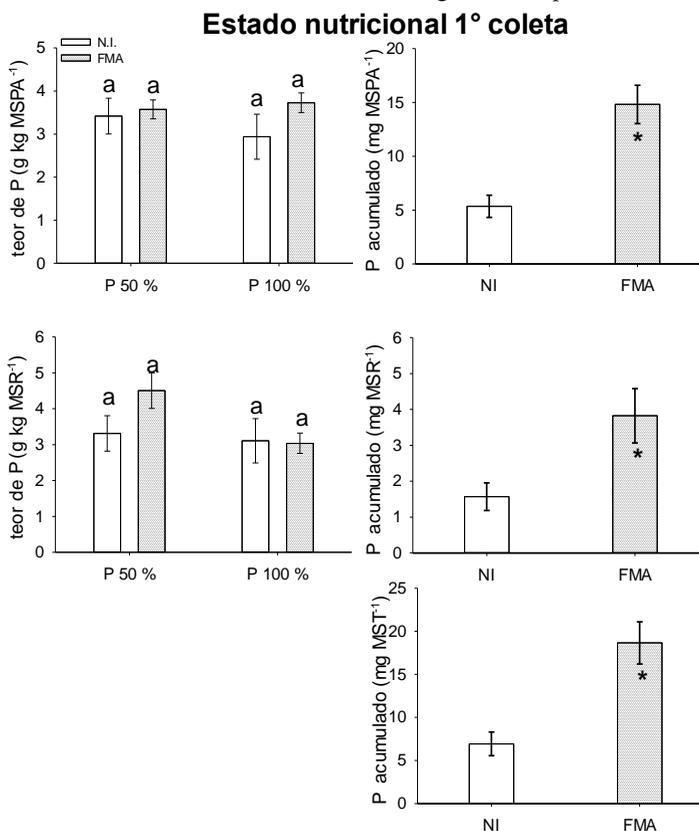


Figura 4. Produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3^o coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



As análises de teores de P nos tecidos do algodão na primeira coleta (Figura 5) não indicaram efeitos significativos, no entanto, acréscimos de 176, 143 e 170 % foram constatados no acúmulo de MSPA, MSR e MST, respectivamente, em resposta à maior produção de matéria seca apresentada anteriormente (Figura 2).

Figura 5. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Não foram constatadas diferenças significativas nos teores e acúmulos de P nos tecidos nas plantas de algodão na segunda (Figura 6) e terceira coleta (Figura 7).

Figura 6. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

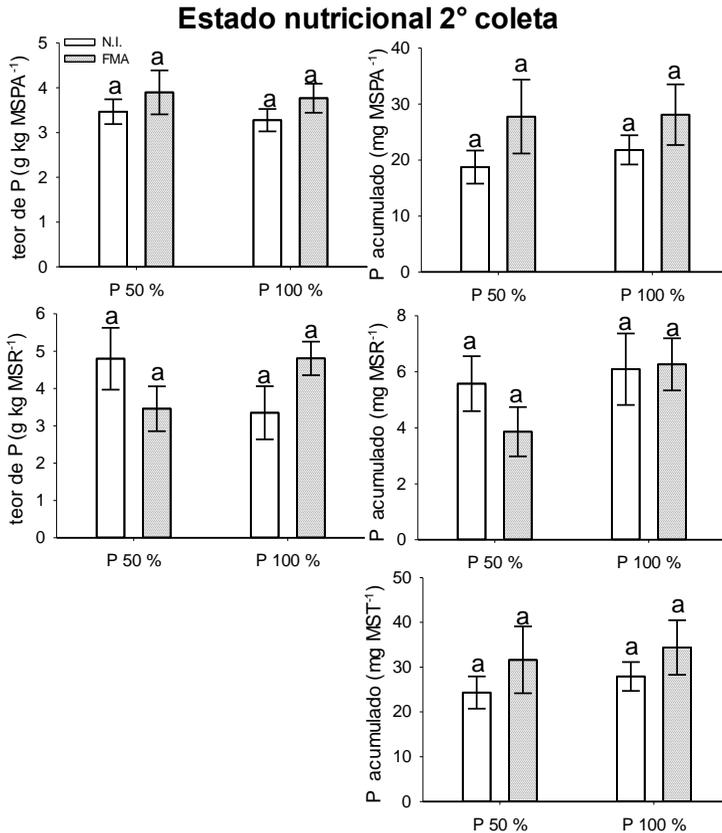
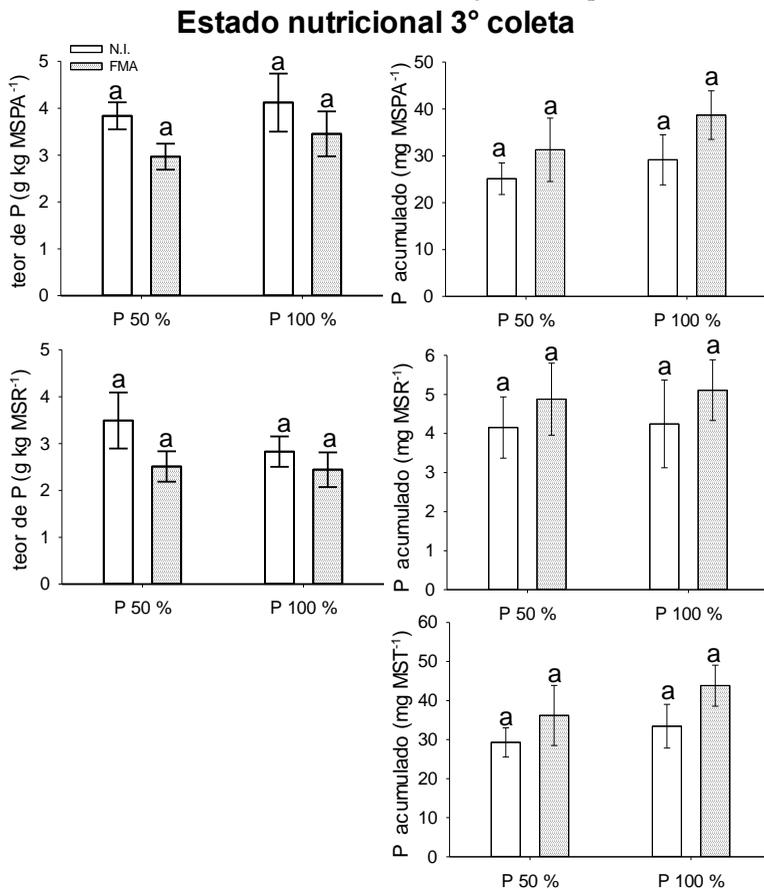


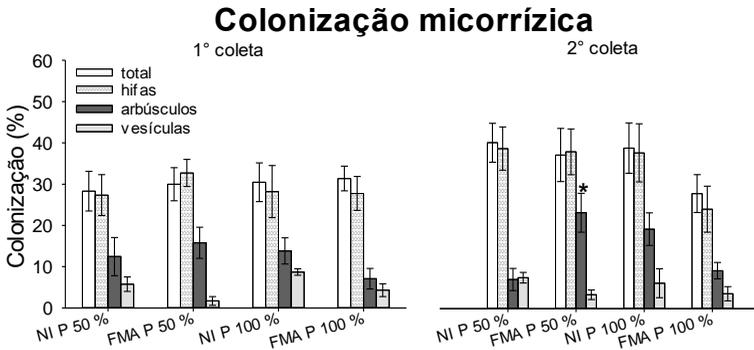
Figura 7. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do algodão (*Gossypium hirsutum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



5.2 Cana-de-açúcar (RB966928)

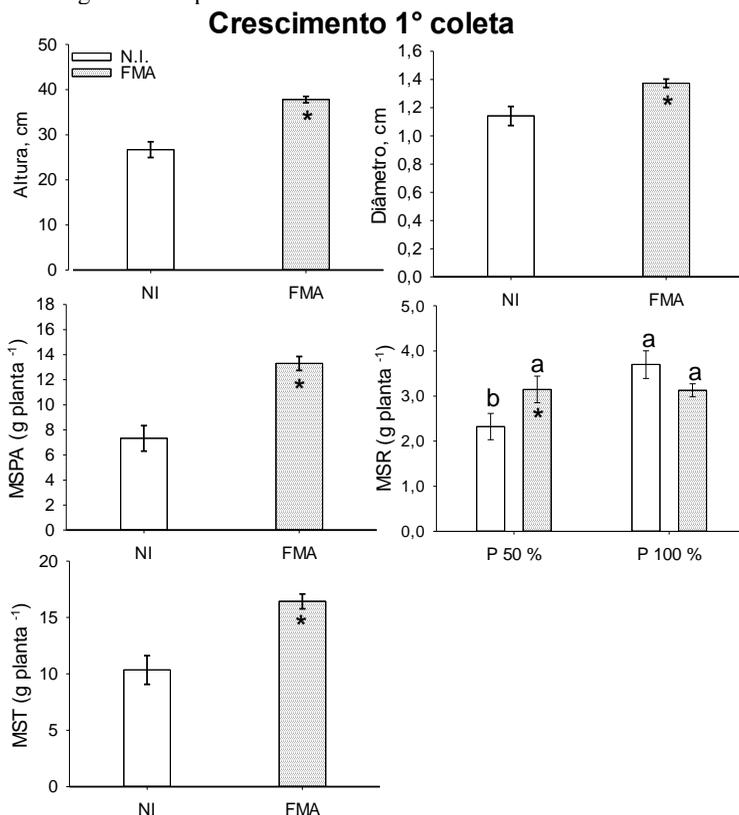
A colonização micorrízica na cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (Figura 8) foi constatada em todos os tratamentos. A colonização total foi em média 30 % nos quatro tratamentos na primeira e 36 % na segunda coleta. Na primeira coleta a formação não houveram diferenças estatísticas na formação das estruturas, mas na segunda coleta a inoculação estimulou a formação de 70 % a mais arbúsculos nas plantas com 50 % da recomendação de P.

Figura 8. Percentual de colonização micorrízica da 1° e 2° coleta da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação para a mesma dose de P.



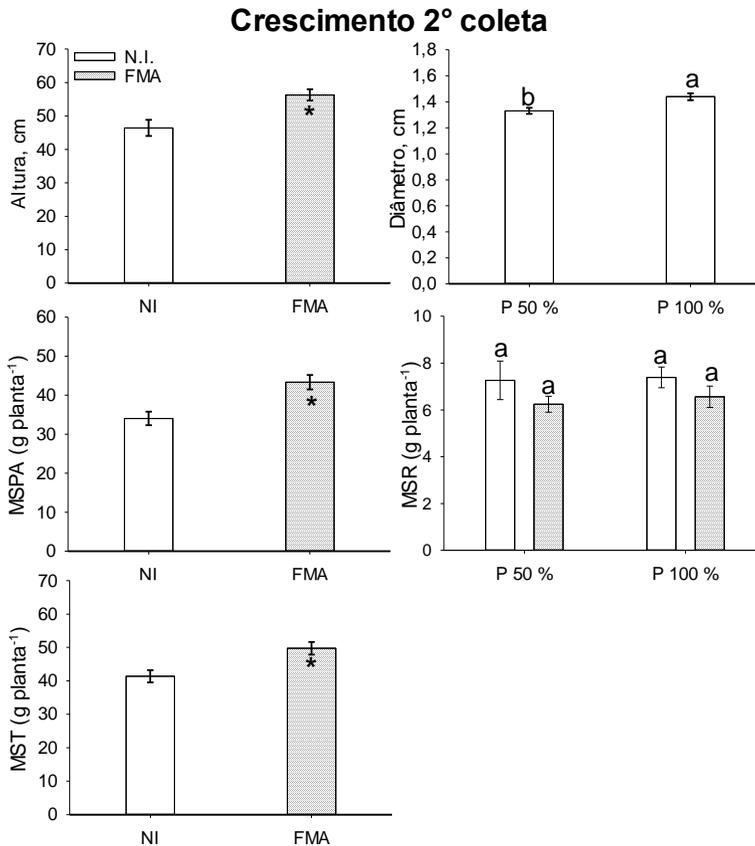
A aplicação do inoculante estimulou o crescimento das plantas de cana-de-açúcar na primeira coleta (Figura 9), esse efeito pode ser observado com o aumentos médios de 42 % na altura, 20 % no diâmetro do colmo e 81 e 59 % na produção de MSPA e MST, respectivamente, sem efeito das diferentes doses de P aplicadas. Na produção de MSR o efeito da inoculação foi observado no tratamento com aplicação de 50 % da dose recomendada, fazendo com que a produção seja similar aos tratamentos com fornecimento de 100 % da recomendação.

Figura 9. Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



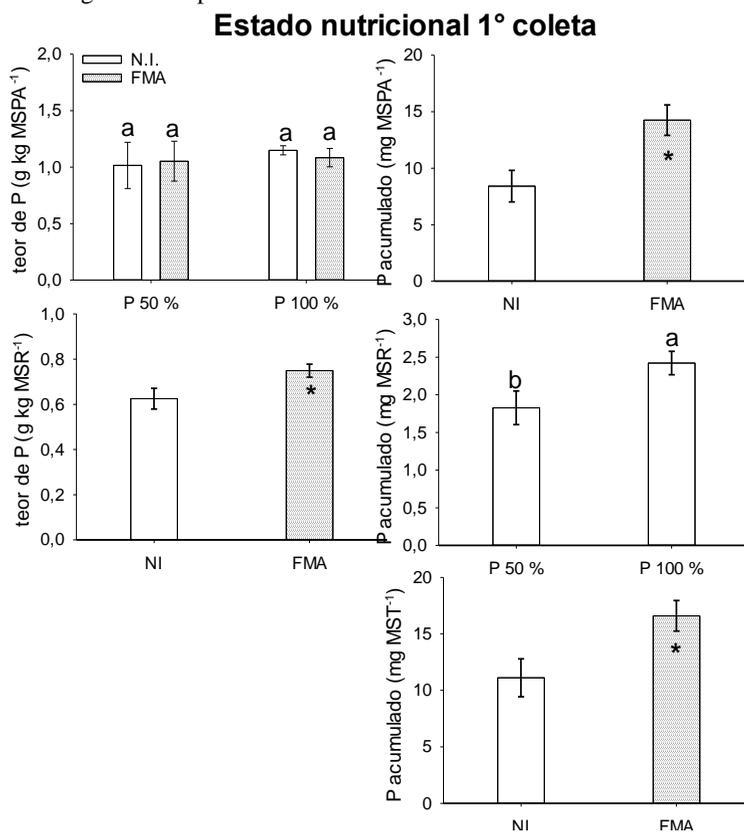
As variáveis que responderam de forma positiva a inoculação das plantas na segunda coleta (Figura 10) foram a altura, MSPA e a MST com 21, 27 e 20 % de acréscimo quando comparadas as plantas não inoculadas. O diâmetro de colmo respondeu apenas a aplicação de P, sendo maior nas plantas que receberam a dose recomenda de adubação fosfatada.

Figura 10. Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2^o coleta da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



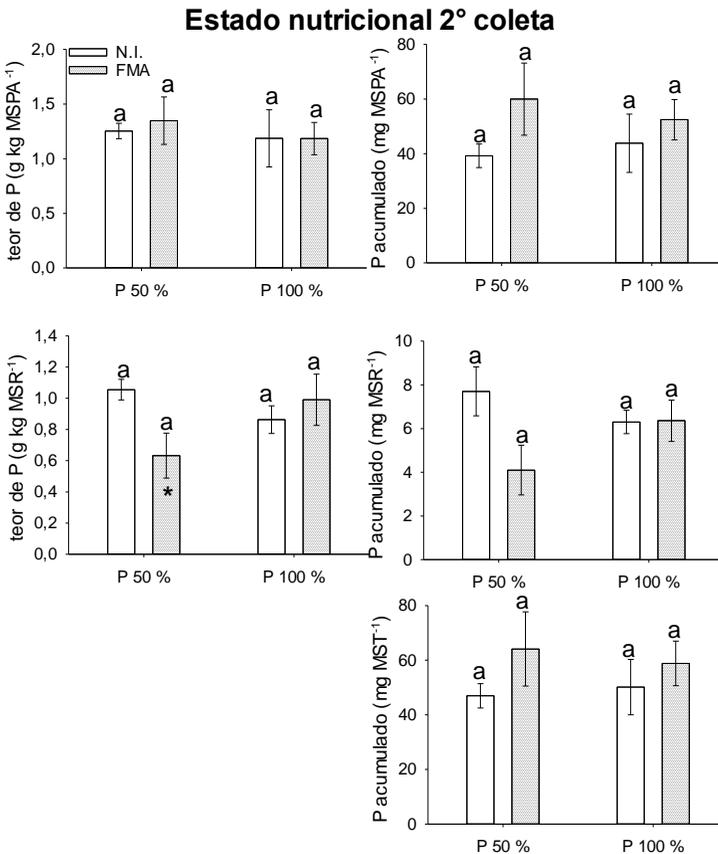
A aplicação do inoculante ou as diferentes doses de fósforo não alteram o teor de P nos tecidos da MSPA na primeira coleta (Figura 11), porém, com a maior produção de biomassa (Figura 9) foram constatados valores de P acumulado na MSPA superiores nas plantas inoculadas, com acréscimo de 55 %. Os teores de P na MSR foram 20 % superiores nas plantas inoculadas, enquanto o acúmulo de P nos tecidos radiculares respondeu às doses de P, e foi 32 % superior nas plantas que receberam a recomendação de adubo fosfatado.

Figura 11. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



O efeito significativo observado nas avaliações nutricionais da segunda coleta (Figura 12) foi uma redução de 40 % no teor de P nas plantas inoculadas que receberam metade da dose recomendada de adubação fosfatada.

Figura 12. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

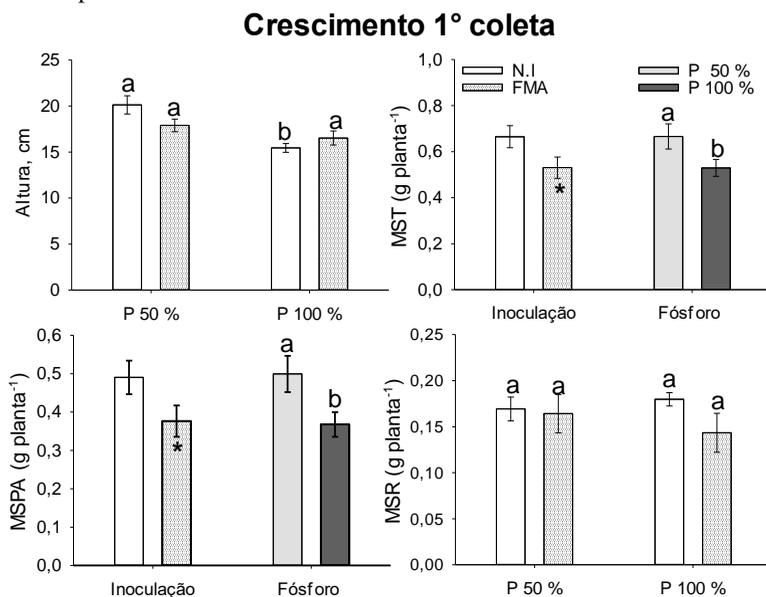


5.3 Eucalipto (PSM WestRock)

Estruturas características da colonização radicular por FMA no eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) não foram observadas nas amostras coletadas, no entanto, algumas variáveis de crescimento e estado nutricional responderam à aplicação do inoculante.

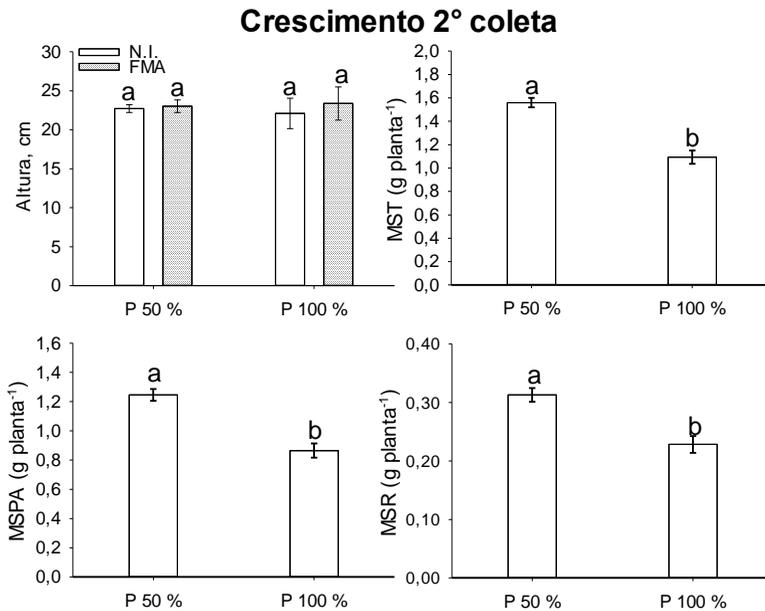
As mudas da primeira coleta que receberam uma dose menor de P e as inoculadas com a adubação recomendada apresentaram comprimento de caule maior (Figura 13). A MST e a MSPA responderam tanto a inoculação quanto as diferentes doses de P, mas não houve interação entre os fatores. As plantas inoculadas apresentaram uma média da produção de MST 20 % menor do que as não inoculadas, e as que receberam 100 % da recomendação de adubo fosfatado foram 20 % menores do que as que receberam apenas metade, da mesma forma a MSPA, com 23 e 26 % de redução, respectivamente.

Figura 13. Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



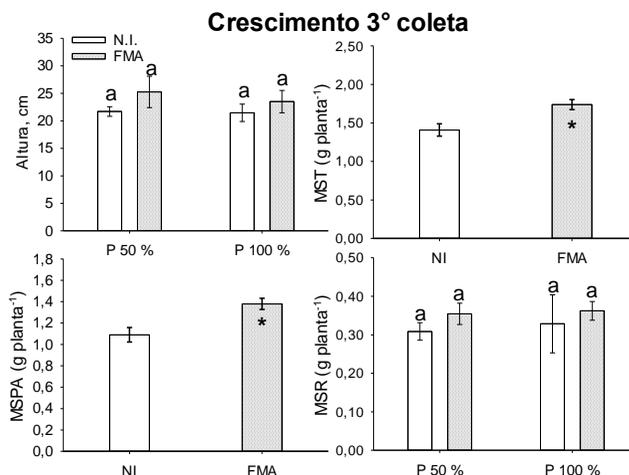
Na segunda coleta (Figura 14), as mudas responderam as diferentes doses de P aplicadas, sendo que em média a MST, MSPA e MSR no tratamento com a dose recomendada, foram 30, 31 e 27 % menores do que quando com metade da recomendação, respectivamente.

Figura 14. Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Na terceira coleta (Figura 15), as mudas de eucalipto responderam ao inoculante, essas respostas podem ser observadas na MST e MSPA, quando as plantas inoculadas tiveram uma produção de biomassa seca 23 e 26 % maiores do que as não inoculadas, respectivamente.

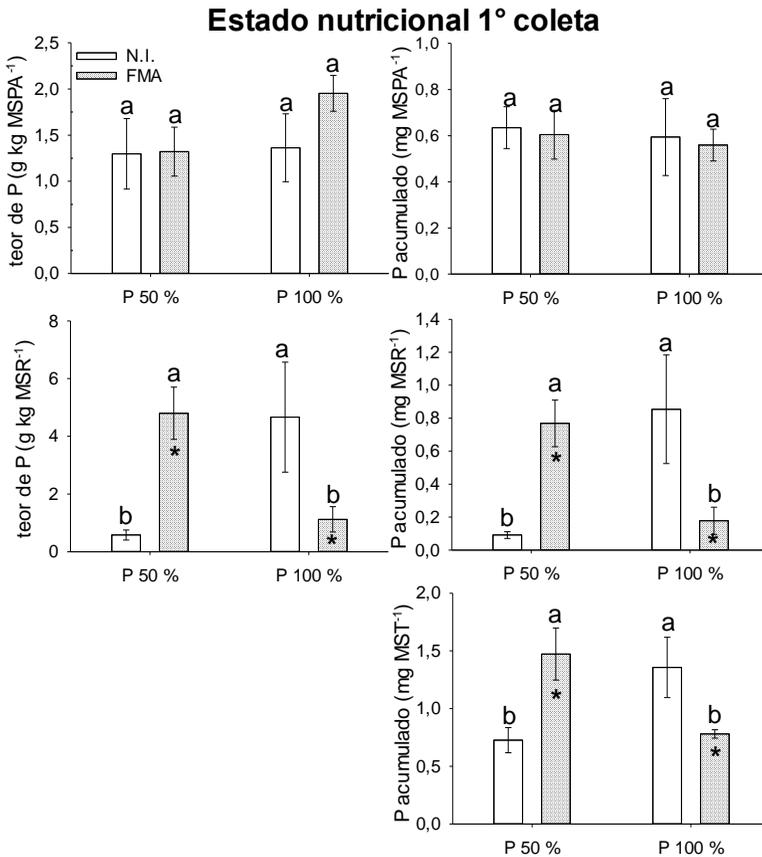
Figura 15. Altura, diâmetro de colmo, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



As mudas de eucalipto apresentaram teores e acúmulos de P nos tecidos aéreos estatisticamente iguais na primeira coleta (Figura 16), em média 1,48 g kg planta⁻¹ e 0,60 mg planta⁻¹. Os tecidos radiculares responderam aos diferentes tratamentos, tanto no teor quanto no acúmulo. A inoculação promoveu incremento médio de 730 % no teor e 742 % no acúmulo de P na MSR nas plantas que receberam metade da dose de P recomendada, se igualando ao tratamento não inoculado que recebeu a dose recomendada de adubo fosfatado (Figura 16). No entanto, as plantas inoculadas que receberam 100 % da recomendação de P, sofreram uma redução significativa de 316 e 380 % no teor e acúmulo de P nas raízes quando comparadas ao tratamento não inoculado com 100 % da recomendação de P. O Acúmulo de P na MST seguiu o

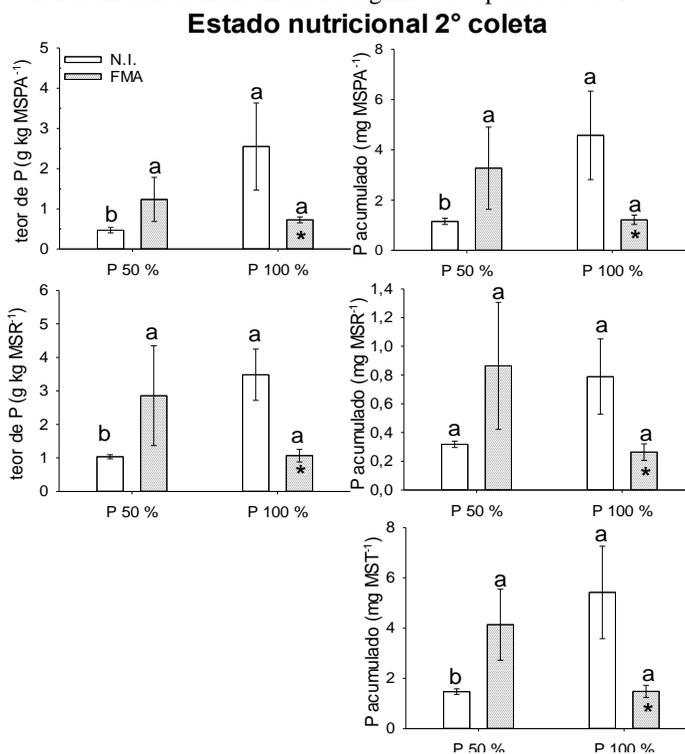
mesmo padrão das respostas das raízes, com acréscimo de 103 % das plantas inoculadas no tratamento com 50 % da recomendação, e redução de 42 % nas plantas inoculadas com 100 % da recomendação.

Figura 16. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



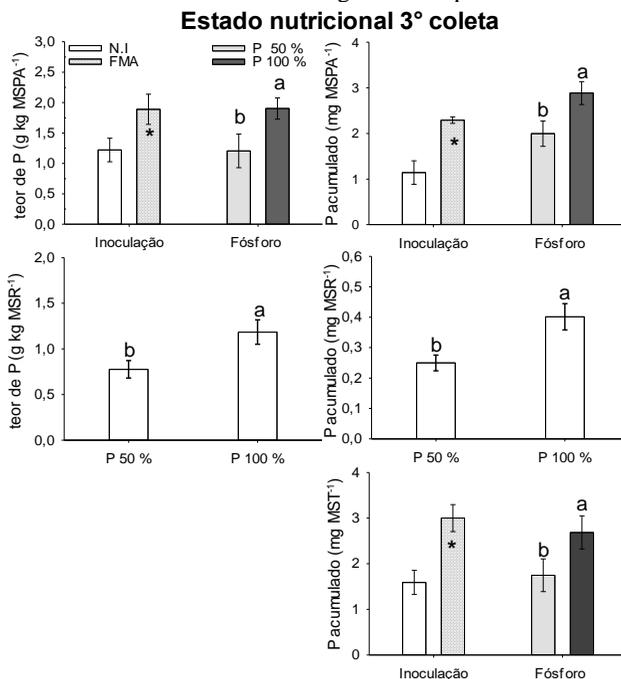
As análises do estado nutricional das mudas de eucalipto da segunda coleta (Figura 17) mostraram que os teores e acúmulos de P de todos os tecidos responderam estatisticamente a interação dos fatores adubação e inoculação. Na MSPA o aumento da disponibilidade P resultou em teores e acúmulos de P mais altos nos tecidos, e o efeito da inoculação foi observado nos tratamentos com 100 % da dose de P recomendada, porém provocando uma redução de 72 e 73 % no teor e acúmulo de P, respectivamente. As outras variáveis nutricionais apresentaram comportamento similar, onde a inoculação quando com 100 % do fornecimento de P reduziu em 69 e 67 % os valores médios do teor e acúmulo de P na MSR, e em 73 % o acúmulo de P na MST.

Figura 17. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado); (*)efeito significativo da inoculação; letras diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Os teores e acúmulos de P das mudas de eucalipto na terceira coleta responderam aos fatores inoculação e dose de P isoladamente (Figura 18). Na MSPA as plantas inoculadas apresentaram valores médios 58 e 108 % maiores no teor e acúmulo de P do que as plantas não inoculadas, e as plantas que receberam a dose recomendada de P, apresentaram teores e acúmulos médios 55 e 41 % maiores do que as que receberam apenas a metade. Os teores e acúmulos de P na MSR foram influenciados apenas pelas diferentes doses de P, e como esperado, as plantas apresentaram valores maiores nas que receberam a dose recomendada de P, em média $1,84 \text{ g kg planta}^{-1}$ e $0,40 \text{ mg planta}^{-1}$ nas mudas que receberam 100 % da recomendação de adubação fosfatada. No acúmulo de P da MST a inoculação promoveu aumento de 85 % nas plantas que receberam a dose completa de P.

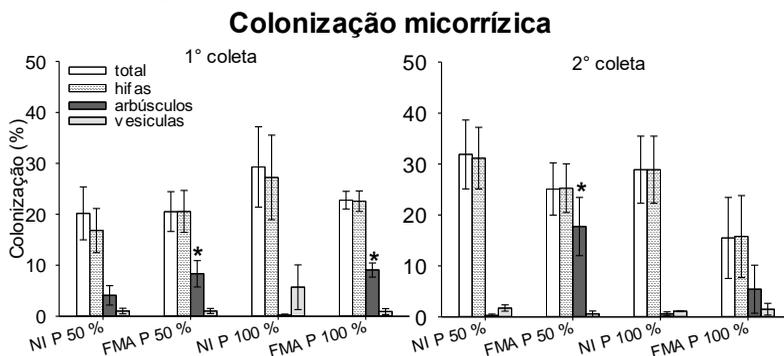
Figura 18. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



5.4 Feijão (pérola)

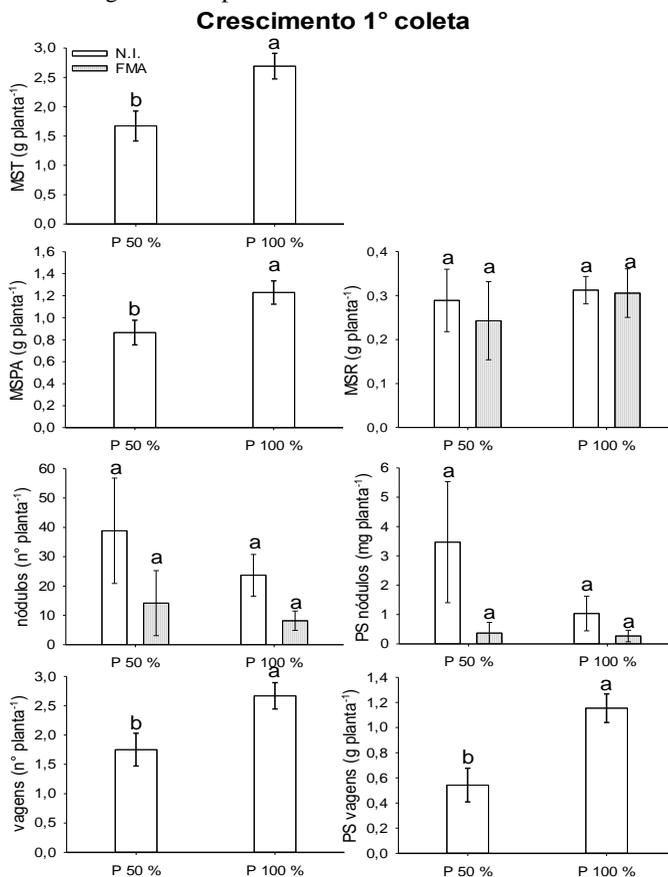
A colonização micorrízica total e por hifas do feijão (*Phaseolus vulgaris*) foi igual em todos os tratamentos na primeira coleta (Figura 19), sendo em média 22 e 20 % respectivamente, mas a colonização por arbúsculos foi superior nas plantas inoculadas, com acréscimo de 208 % sobre as não inoculadas. Na segunda coleta, a colonização micorrízica total, por hifas e vesículas também foram iguais em todos os tratamentos, mas novamente a colonização arbuscular além de responder a inoculação nas plantas com metade da recomendação de adubação fosfatada, também respondeu as diferentes doses de P, sendo que quando o fornecimento de P aumentou, a colonização por arbúsculos das plantas inoculadas diminuiu 69 %.

Figura 19. Percentual de colonização micorrízica da 1^o e 2^o coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação.



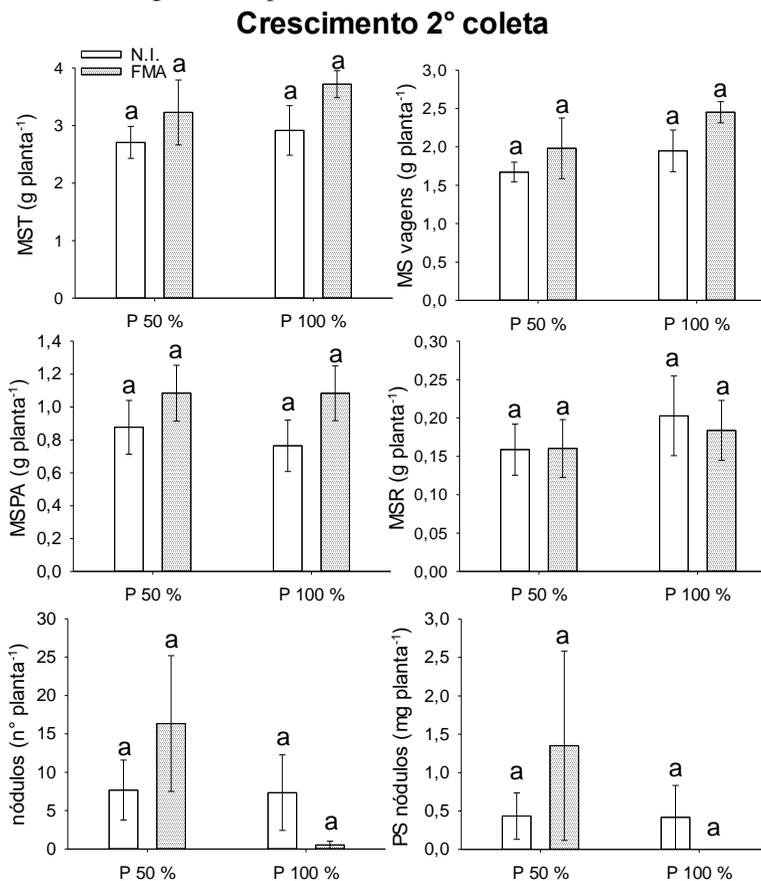
As avaliações do crescimento das plantas de feijão (Figura 20) apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, e responderam de forma positiva ao aumento da dose de P aplicada nos vasos, sendo que os acréscimos foram na ordem de 61 % na MST, 42 % na MSPA, e 112 % na biomassa seca de vagens.

Figura 20. Produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR), número e PS dos nódulos radiculares e vagens da 1^o coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



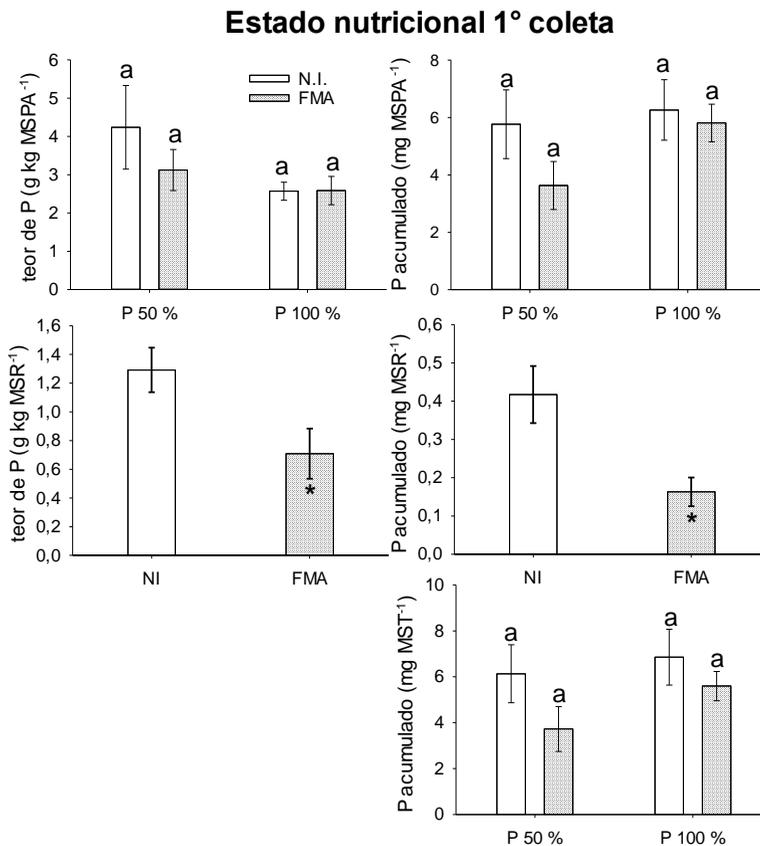
Na segunda coleta (Figura 21) as avaliações de crescimento das plantas de feijão não responderam aos tratamentos testados nesse trabalho.

Figura 21. Produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR), número e PS dos nódulos radiculares e vagens da 2ª coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



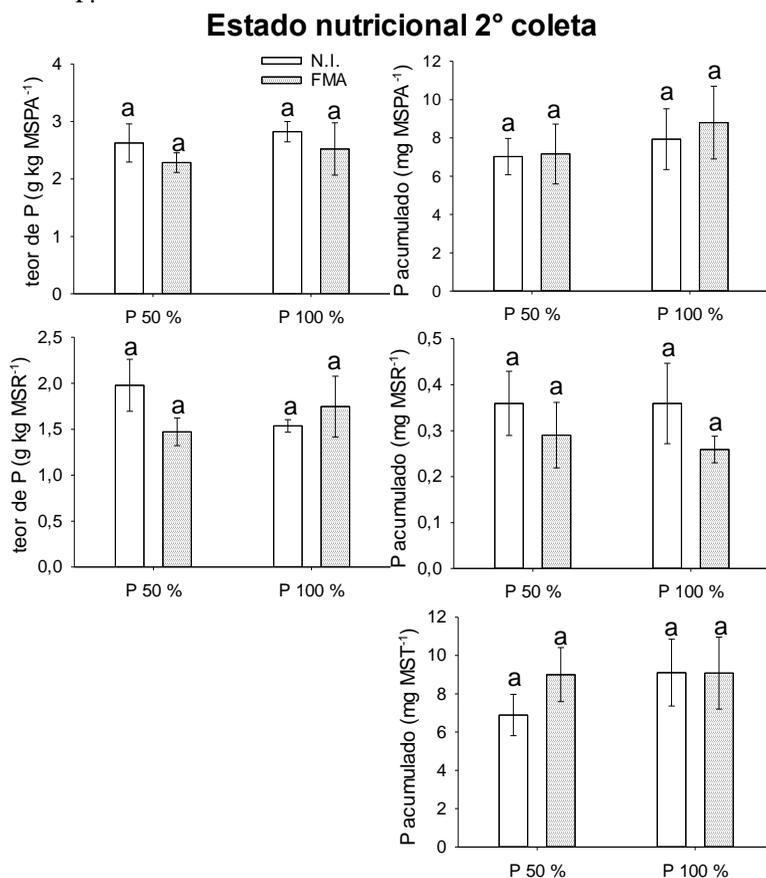
Na primeira coleta (Figura 22) as plantas de feijão apresentaram diferenças estatísticas nos teores e acúmulos de P da MSR, onde as plantas inoculadas possuíam teores e acúmulos em média 47 e 62 % menores quando comparadas as não inoculadas.

Figura 22. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Na segunda coleta (Figura 23) as plantas de feijão não apresentaram diferenças estatísticas nos teores e acúmulos de P nos tecidos.

Figura 23. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



5.5 Girassol (Multisol)

A colonização micorrízica arbuscular das plantas de girassol (*Helianthus annuus*) respondeu estatisticamente a interação dos fatores doses de P e inoculação nas três coletas realizadas (Figura 24). Na primeira coleta, quando as plantas inoculadas receberam uma dose maior de P, a colonização total e por hifas reduziu, porém, a colonização micorrízica das plantas inoculadas e com apenas metade da dose de P aplicada foi igual a das plantas não inoculadas que receberam 100 % da recomendação de adubo fosfatado, com média observada de 10 % de colonização radicular.

Na segunda coleta (Figura 24), pode-se destacar o aumento da colonização arbuscular e vesicular das plantas inoculadas com 50 % da dose de P aplicada (acréscimos de 182 e 206 %, respectivamente) em relação as não inoculadas, e nesta mesma coleta é possível observar uma redução média de 58 % na colonização total quando se aumentou o fornecimento de P via adubação. Na terceira coleta (Figura 24), novamente a colonização total é superior nas plantas inoculadas que receberam apenas 50 % da dose recomendada de P, bem como há uma redução significativa nas plantas inoculadas nas plantas que receberam 100 % da recomendação de P.

A mudas de girassol na primeira coleta (Figura 25) apresentaram respostas à inoculação na avaliação da MSR, com acréscimo médio de 18 % quando comparadas as não inoculadas.

Na segunda coleta (Figura 26) o crescimento (MST) das plantas foi reduzido em 29 % pela inoculação quando disponibilizada apenas metade da quantidade de P recomendada, bem como redução de 30 % na MSPA. Como na primeira coleta, a produção de biomassa seca da raiz (MSR) foi beneficiada pela inoculação, no entanto esse efeito foi observado nas plantas que receberam 100 % da recomendação de adubação fosfatada, com acréscimo de 60 % sobre as plantas não inoculadas na mesma dose de P.

Na terceira coleta nenhum efeito significativo foi observado em resposta aos diferentes tratamentos testados (Figura 27).

Figura 24. Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação.

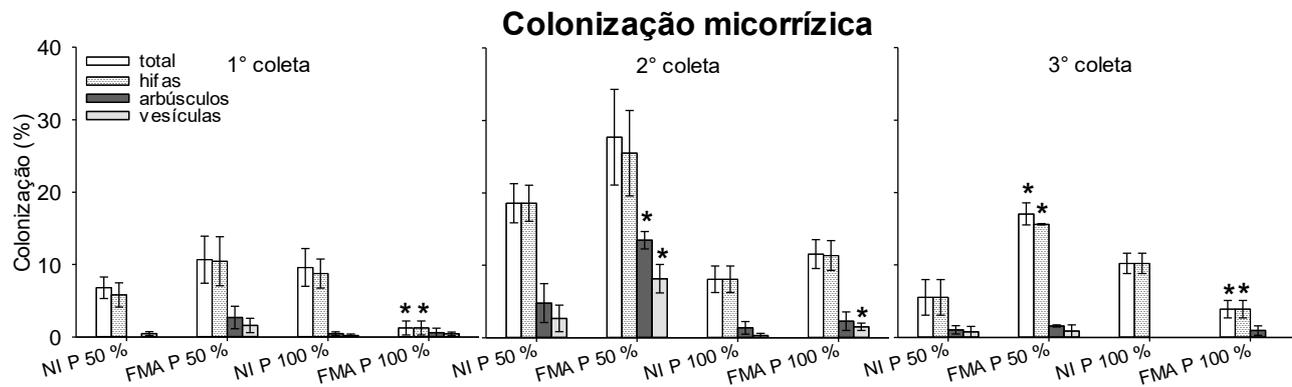


Figura 25. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1^o coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

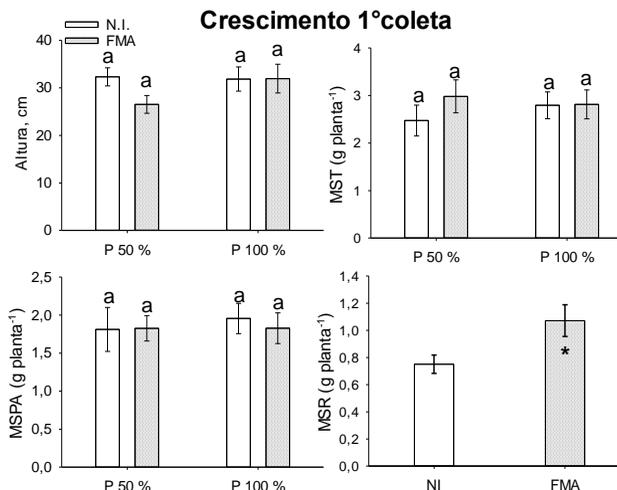


Figura 26. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2^o coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

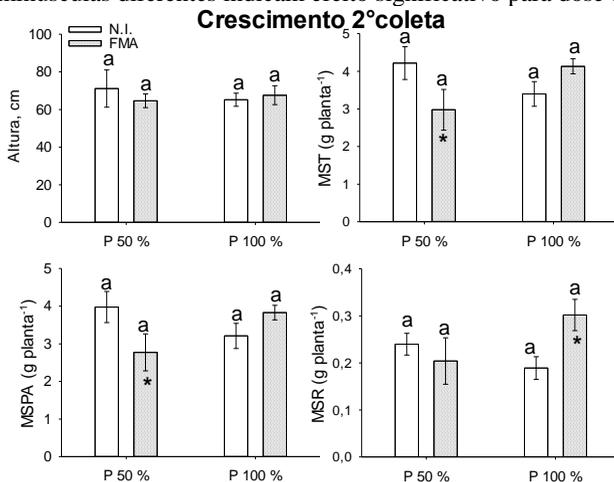
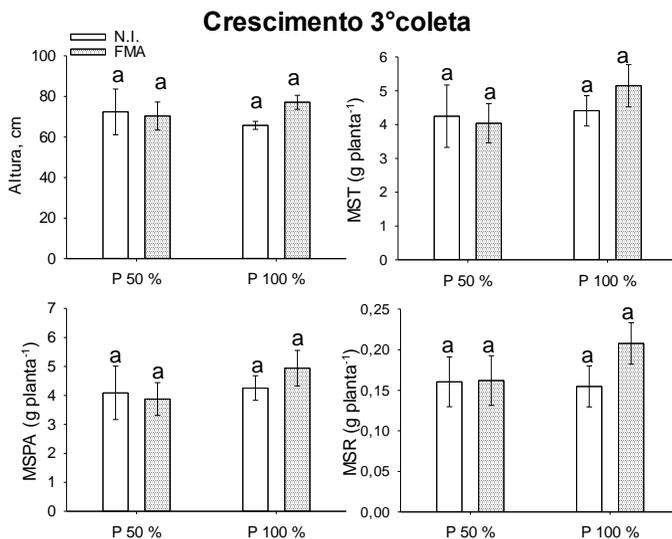
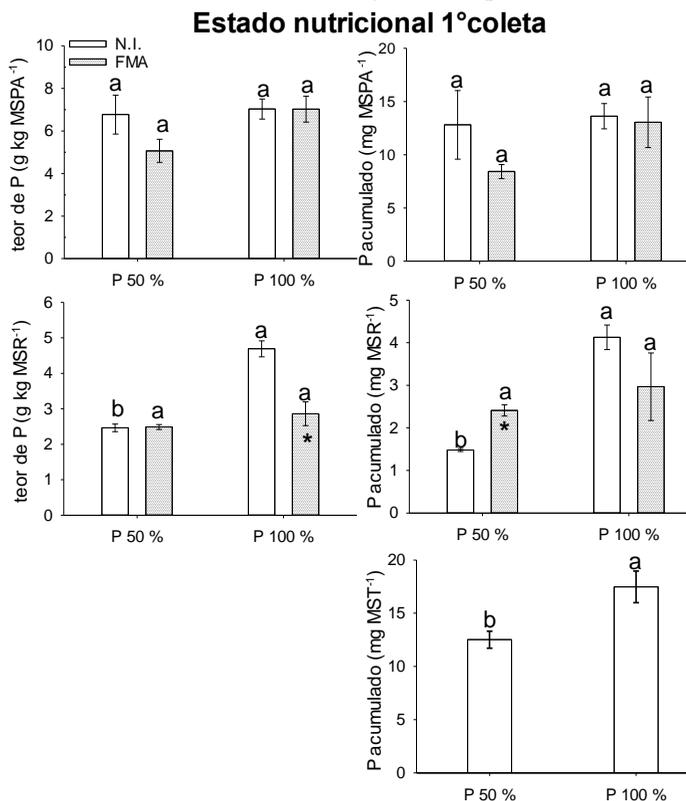


Figura 27. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3^o coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



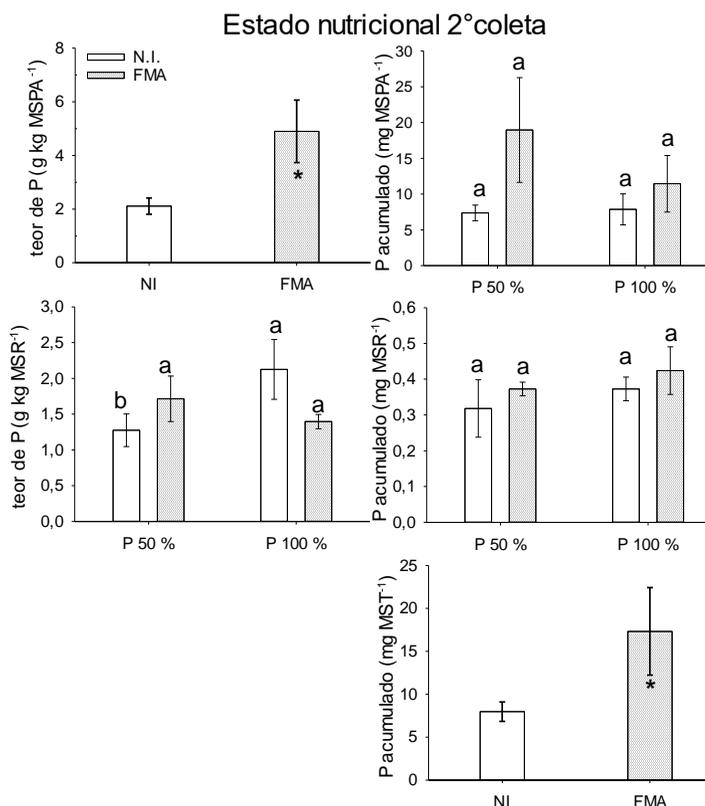
Nas avaliações do estado nutricional dos tecidos do girassol na primeira coleta (Figura 28) foi possível observar o efeito da inoculação nos tecidos radiculares (MSR), onde as plantas com 100 % do P recomendado aplicado, a inoculação reduziu 24 % os valores médios de teor de P, mas aumentou o acúmulo quando metade da dose era fornecida. Além disso, como esperado, nas plantas não inoculadas o aumento da disponibilidade de P via adubação fosfatada aumentou tanto o teor (53 %), quanto o acúmulo (116 %) de P na MSR, e isso se repetiu no acúmulo de P na MST (27 %).

Figura 28. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



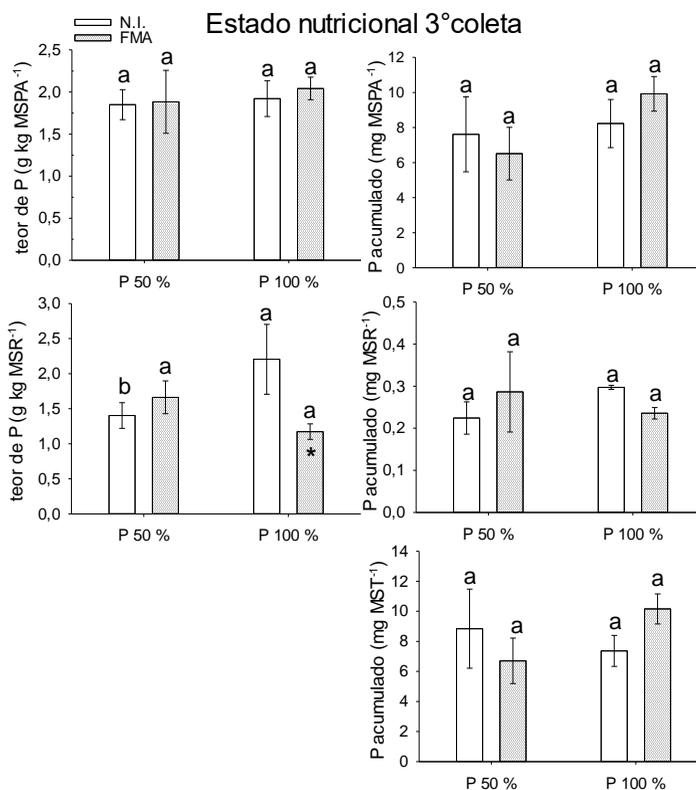
O estado nutricional do girassol na segunda coleta apresentou mais diferenças entre os tratamentos (Figura 29), a começar pelo teor de P da MSPA, onde as plantas inoculadas respondiam com um acréscimo médio de 122 % sobre as não inoculadas, sem alterar o acúmulo total. Nos tecidos radiculares, foi possível observar apenas o efeito da maior disponibilidade de P no teor via adubação fosfatada nas plantas não inoculadas, porém, quando avaliadas as plantas como um todo (MST) o acúmulo foi 117 % superior nas plantas inoculadas.

Figura 29. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Das avaliações nutricionais realizadas na terceira coleta do girassol (Figura 30), o teor de P na MSR foi o único que apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo beneficiado pela maior disponibilidade de P via adubação fosfatada quando as plantas não haviam sido inoculadas. Quando 100 % da adubação recomendada foi fornecida, a inoculação reduziu em 47 % o teor de P na MSR.

Figura 30. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do girassol (*Helianthus annuus*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



5.6 Milho (Morgan 20A50)

Foi observada colonização radicular desde a primeira coleta do milho (*Zea mays*) (Figura 31), tanto nas plantas que receberam a aplicação do inoculante, quanto as que não foram inoculadas, porém algumas diferenças devem ser destacadas entre os tratamentos. Na primeira coleta, as plantas inoculadas tiveram uma colonização total e por arbúsculos significativamente superiores do que as não inoculadas (em média 152 e 1555 % respectivamente). Na segunda coleta, o aumento do fornecimento de P nas plantas não inoculadas reduziu o percentual de colonização total, e a inoculação elevou o valor médio (acréscimo de 135 %) de colonização total nas plantas com 100 % de fornecimento de P. Não foram observadas diferenças significativas na colonização na terceira coleta.

O crescimento das plantas de milho na primeira coleta (Figura 32) respondeu estatisticamente na maior produção de MSR, onde a inoculação promoveu 43 % de acréscimo nessa variável.

Na segunda coleta nenhum efeito significativo foi observado no crescimento em resposta aos diferentes tratamentos testados (Figura 33).

Na terceira coleta (Figura 34) o milho apresentou respostas à inoculação e as diferentes doses de P na MSR. A inoculação promoveu acréscimo de 59 % nas plantas que receberam 50 % da recomendação de P via adubação.

Figura 31. Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação. ns: não significativo.

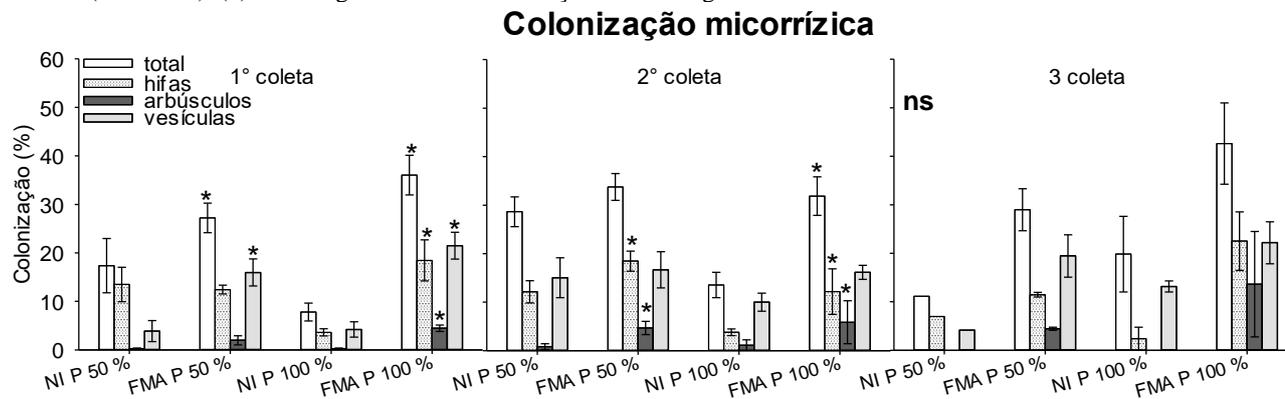


Figura 32. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1ª coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

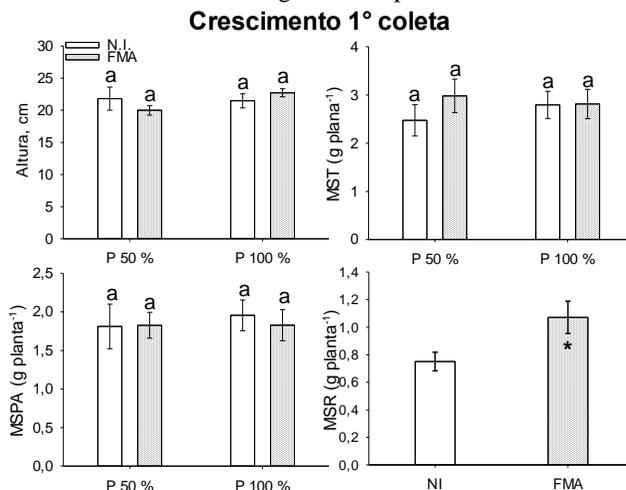


Figura 33. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2ª coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

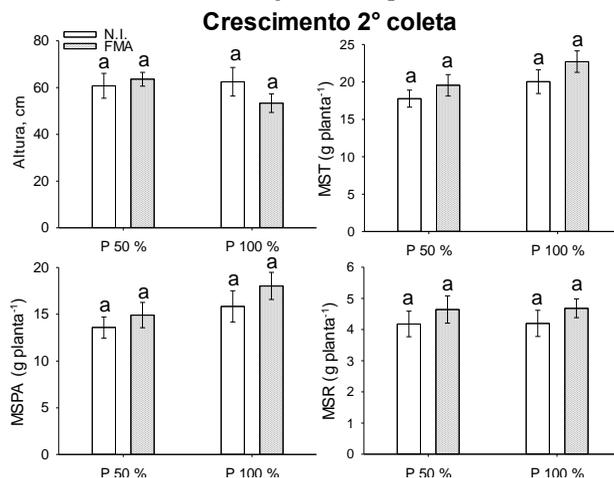
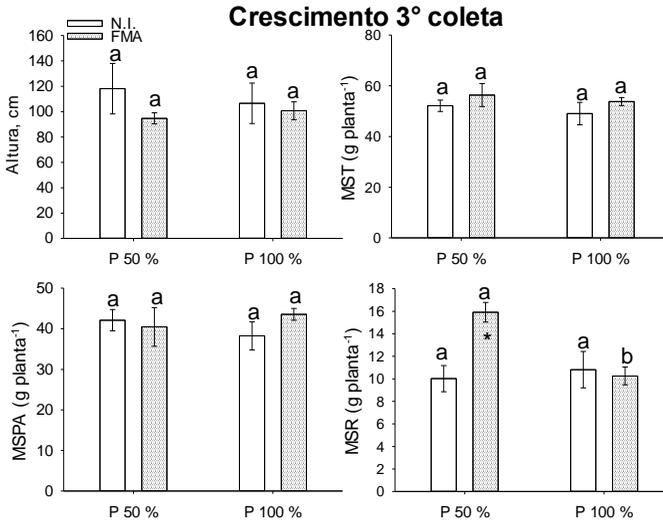
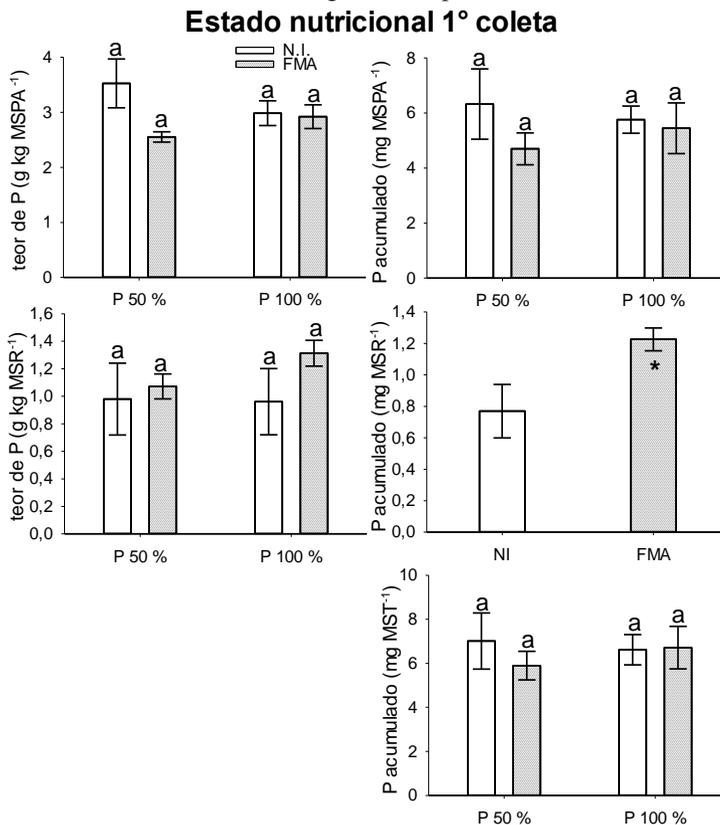


Figura 34. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3^o coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



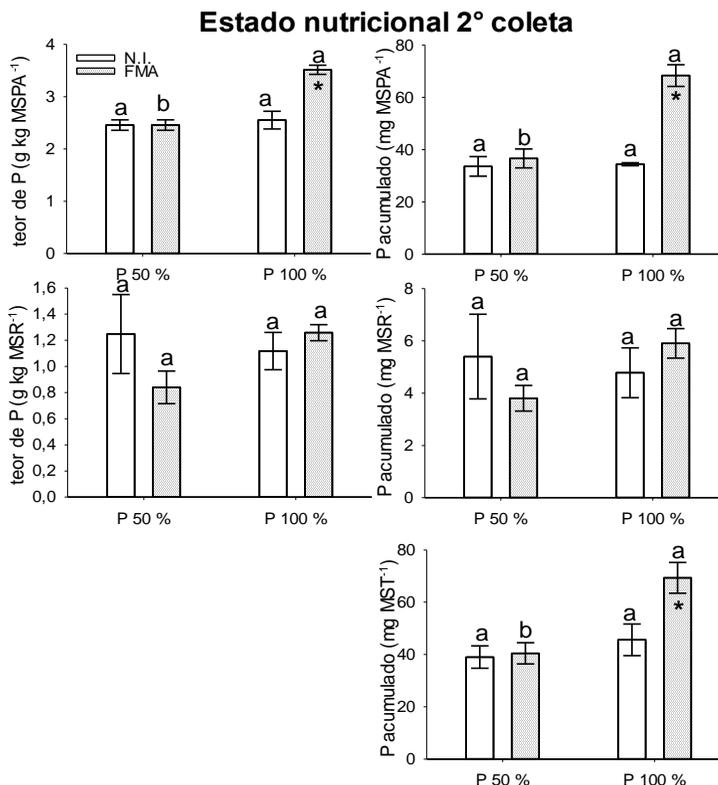
O milho na primeira coleta respondeu a inoculação e o efeito foi observado no acúmulo de P nos tecidos radiculares (Figura 35). As plantas inoculadas apresentaram acúmulos 59% maiores do que as plantas não inoculadas.

Figura 35. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



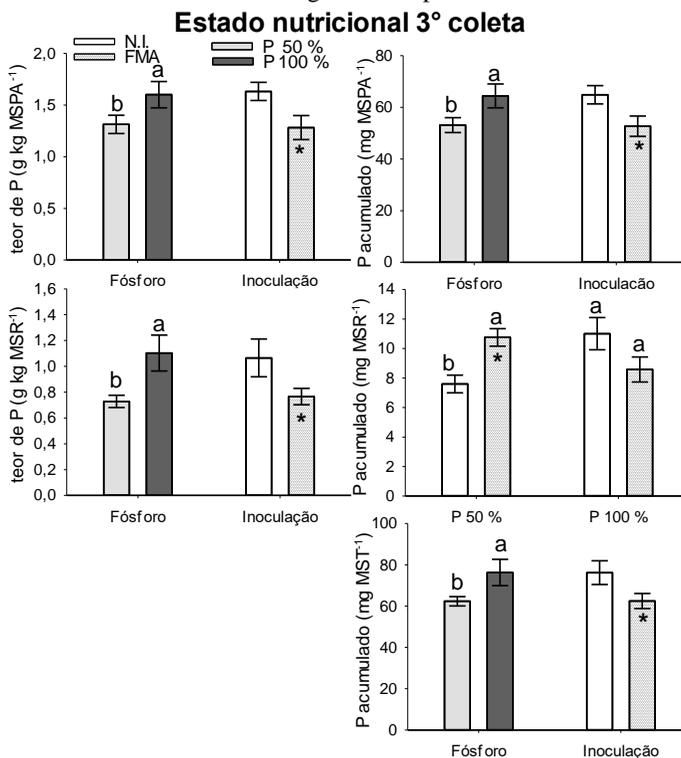
Na segunda coleta (Figura 36), as plantas responderam aos diferentes tratamentos. Nos tecidos da parte aérea o tratamento das plantas inoculadas com 100 % da recomendação de adubação apresentaram teor e acúmulo superiores aos demais tratamentos, com acréscimos de 41 e 71 %, respectivamente. Nessa coleta os teores e acúmulos dos tecidos radiculares foram estatisticamente iguais em todos os tratamentos. Quanto ao acúmulo na MST o comportamento foi similar ao da MSPA, com as plantas inoculadas e que receberam 100 % da recomendação de P com valores médios 66 % superiores aos demais tratamentos.

Figura 36. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Os fatores inoculação e doses de fósforo proporcionaram diferentes efeitos no estado nutricional na terceira coleta do milho (Figura 37), com o aumento da dose de P as plantas tiveram os seus valores de teor e acúmulo de P na MSPA elevados em 22 e 21 %, respectivamente, e a inoculação de forma contrária provocou a dedução dos mesmos (21 e 19 %). O teor de P na MSR aumentou quando na presença da maior dose de P e reduziu quando as plantas foram inoculadas (aumento de 51 % e redução de 28 %). Quanto ao acúmulo de P na MSR, as plantas inoculadas acumularam 41 % a mais de P nos tecidos radiculares do que as não inoculadas quando com 50 % da recomendação de P aplicado.

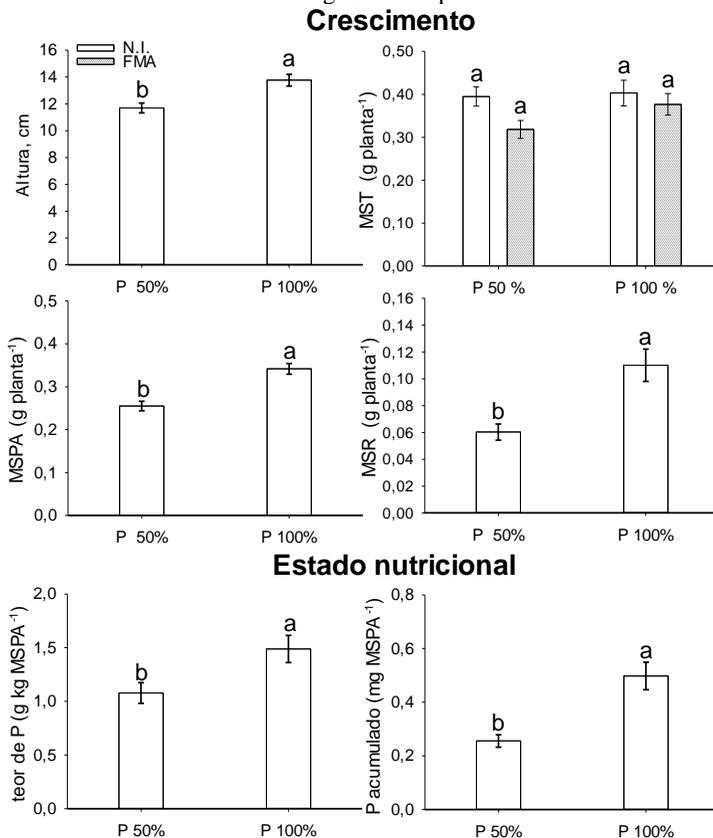
Figura 37. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do milho (*Zea mays*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



5.7 Pinus (PCS WestRock)

Quando observados os fragmentos de raiz do pinus (*Pinus taeda*), não foram encontradas estruturas características da colonização por fungos micorrízicos arbusculares, e confirma-se este fato quando o crescimento e estado nutricional respondem com diferenças estatísticas originadas apenas do fator adubação fosfatada (Figura 38).

Figura 38. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR), teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) do pinus (*Pinus taeda*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



5.8 Soja (Tornado 6863)

Estruturas de fungos micorrízicos arbusculares foram observadas nas raízes de soja (*Glycine max*) nos tratamentos inoculados na primeira coleta (Figura 39), porém com percentuais baixos. Na segunda coleta, observam-se estruturas em todos os tratamentos, e com aumento significativo (222 %) nas plantas inoculadas que receberam 50 % da recomendação de P. Na terceira coleta, a colonização radicular foi em média 58 %, mas não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos e estruturas avaliadas.

Não foram observadas diferenças estatísticas nos parâmetros de crescimento da soja avaliados na primeira (Figura 40) e segunda coleta (Figura 41). Os valores médios da primeira coleta foram: altura=25,8 cm, MST=0,864 g, MSPA=0,648 g, MSR=0,216 g, n° nódulos= 10 e PS nódulos=2,52 mg; e na segunda coleta: MST=3,22 g, MSPA= 2,23g, MSR=0,689 g, n° nódulos= 44 e PS nódulos=34,28 mg.

Na terceira coleta da soja (Figura 42) os efeitos da inoculação puderam ser observados na MSR e MS de nódulos, sendo que nos dois casos houve uma redução significativa quando inoculadas, em média 26 e 57 % quando comparadas as plantas não inoculadas.

Figura 39. Percentual de colonização micorrízica da 1^o, 2^o e 3^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P; ns: não significativo.

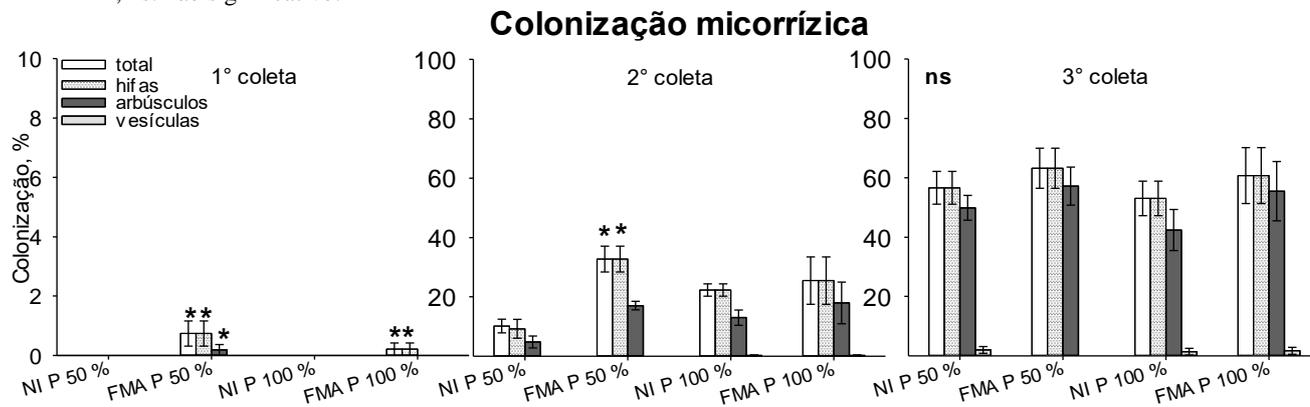


Figura 40. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1° coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

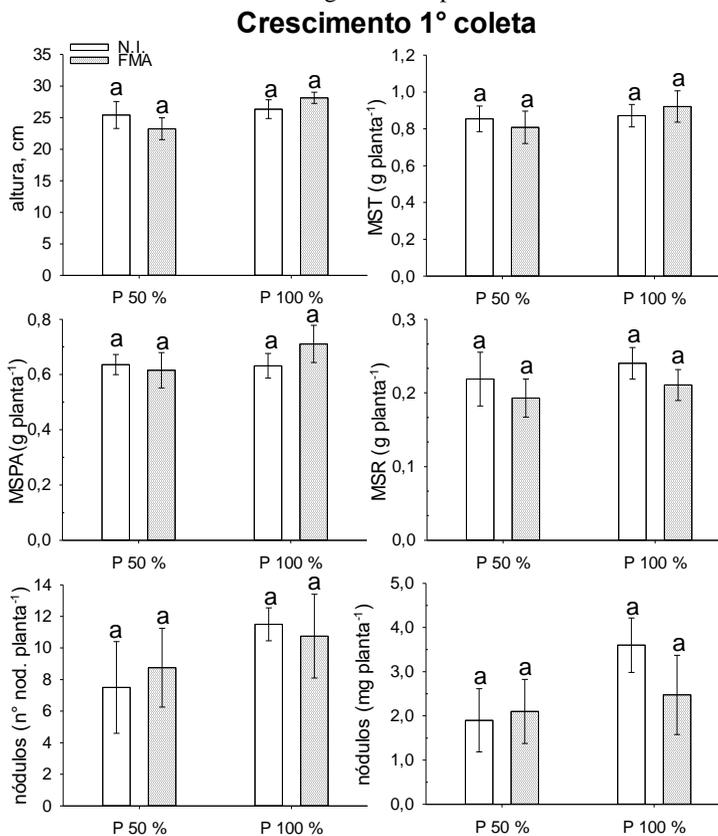


Figura 41. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2ª coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

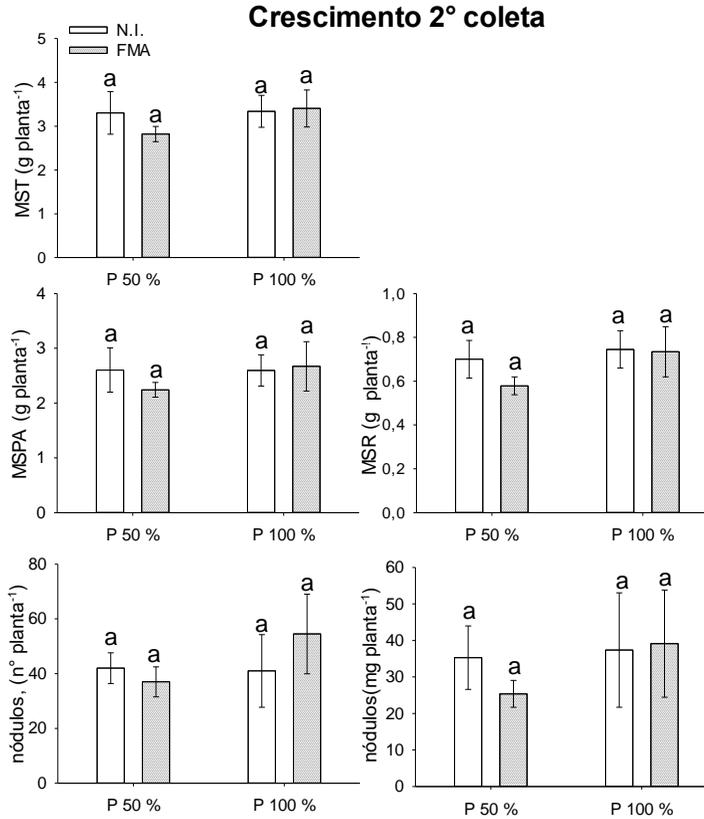
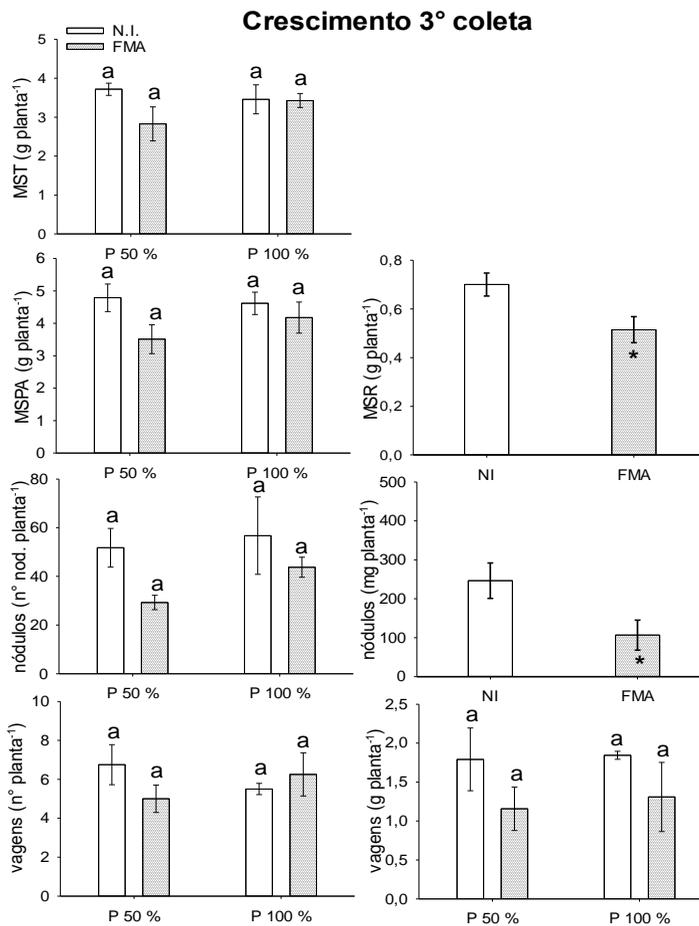
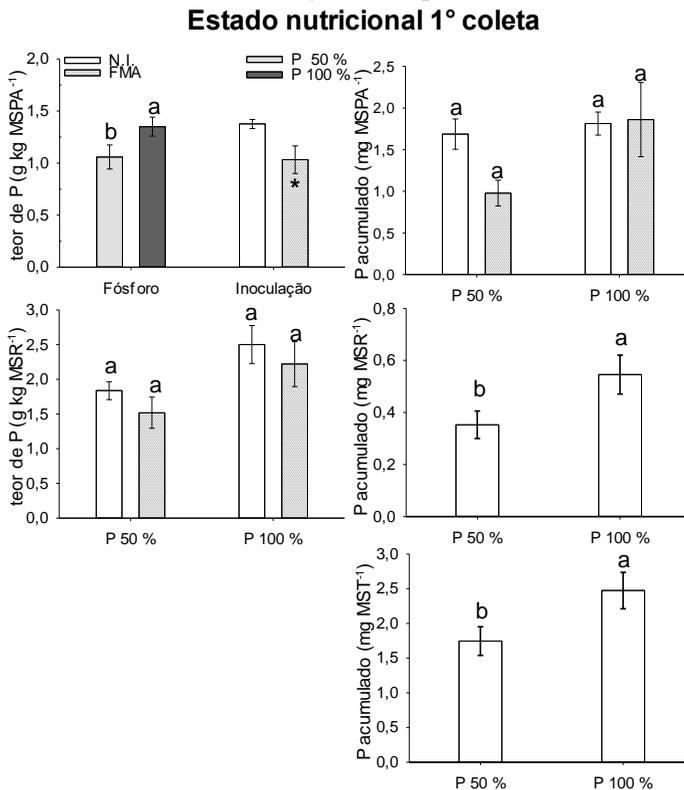


Figura 42. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



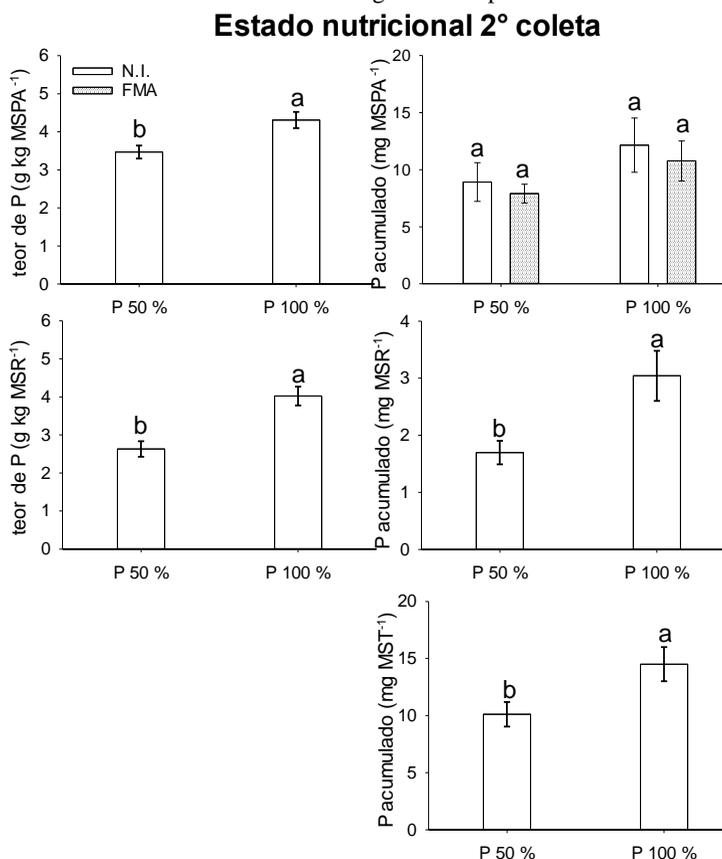
Apesar de não terem sido observados efeitos significativos no crescimento da soja na primeira coleta (Figura 40), o estado nutricional das plantas (Figura 43) apresentou diferenças em função da inoculação e das doses de P. O fornecimento de mais fósforo via adubação fez com que as plantas aumentassem o teor de P nos seus tecidos aéreos, enquanto que a inoculação reduziu esses valores (28 e 25 %, respectivamente). Na MSR e MST o acúmulo respondeu de forma similar às diferentes doses de P fornecidas, nas maiores doses de P, maiores foram os valores de P acumulado, em média 54 e 42 %, respectivamente.

Figura 43. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



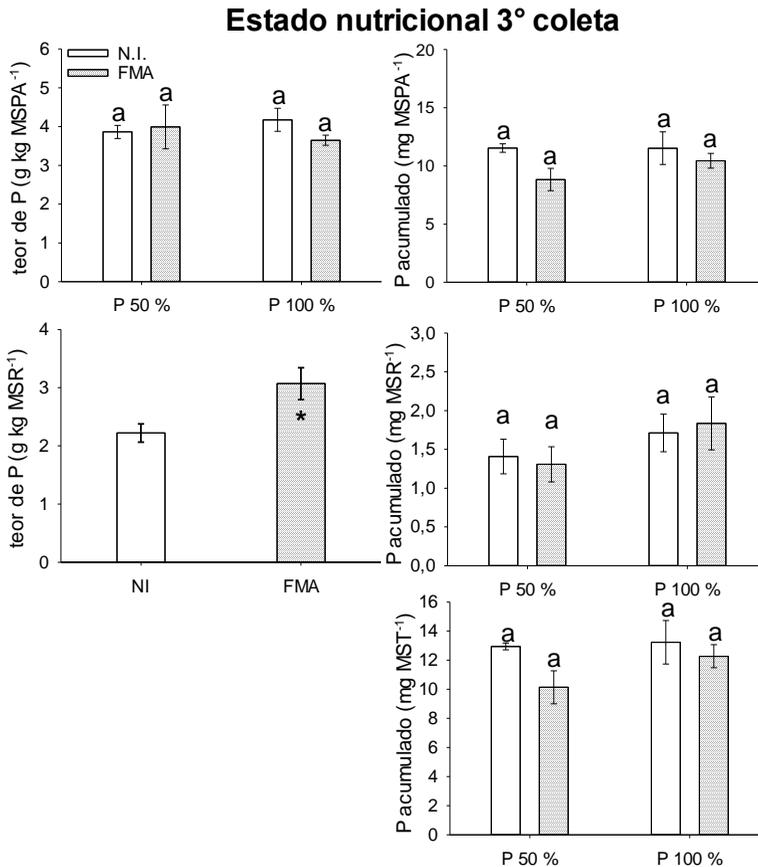
Na segunda coleta as respostas das variáveis nutricionais (Figura 44) responderam às doses de P fornecidas, sendo os acréscimos do tratamento P 100 % sobre o P 50 % de 24, 53, 79, 43 % no teor de P na MSPA, teor e acúmulo de P na MSR e acúmulo de P na MST, respectivamente.

Figura 44. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



As plantas avaliadas na terceira coleta (Figura 45) apresentaram respostas significativas a inoculação no teor de P na MSR, sendo que a inoculação promoveu acréscimo de 38 % no valor médio dos teores de P nos tecidos radiculares.

Figura 45. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3^o coleta da soja (*Glycine max*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.

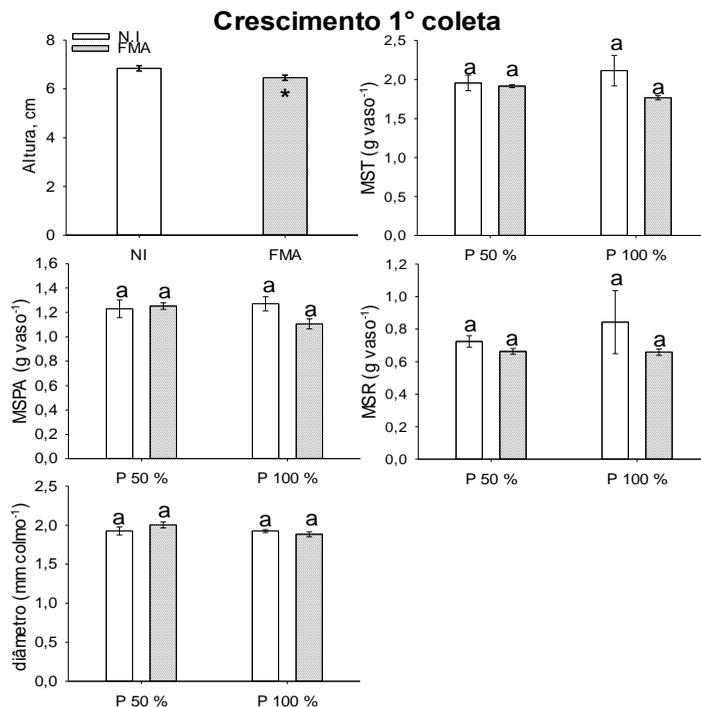


5.9 Trigo (TBIO Sinuelo)

A colonização micorrízica do trigo (*Triticum aestivum*) foi constatada em todos os tratamentos e em todas as coletas, porém em virtude de problemas transcorridos durante a coloração dos fragmentos de raiz, não foi possível fazer uma avaliação estatística dos dados, dessa forma, pode-se afirmar que o trigo nessas condições foi colonizado por fungos micorrízicos arbusculares, mas não foi possível informar os percentuais de colonização das estruturas formadas.

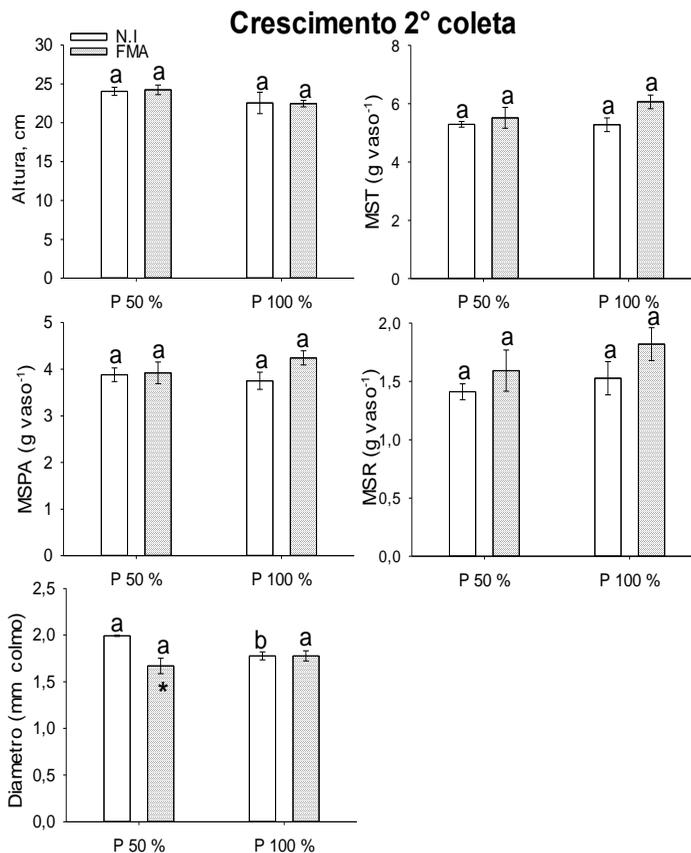
Quanto ao crescimento do trigo na primeira coleta (Figura 46), as plantas tiveram uma redução significativa na altura das plantas, porém isso não se refletiu em menor produção de MST, MSPA ou de MSR.

Figura 46. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 1^o coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



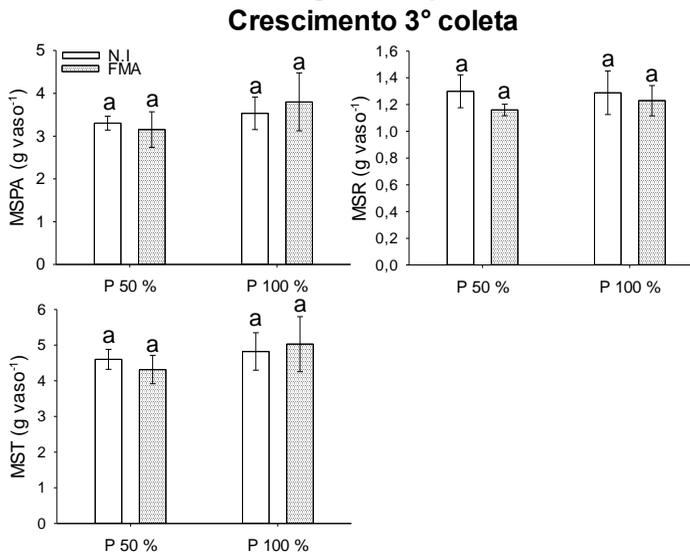
Na segunda coleta (Figura 47), foi observada uma redução no diâmetro de colmo de 16 % nas plantas inoculadas quando receberam apenas 50 % da dose recomendada de P.

Figura 47. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 2ª coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



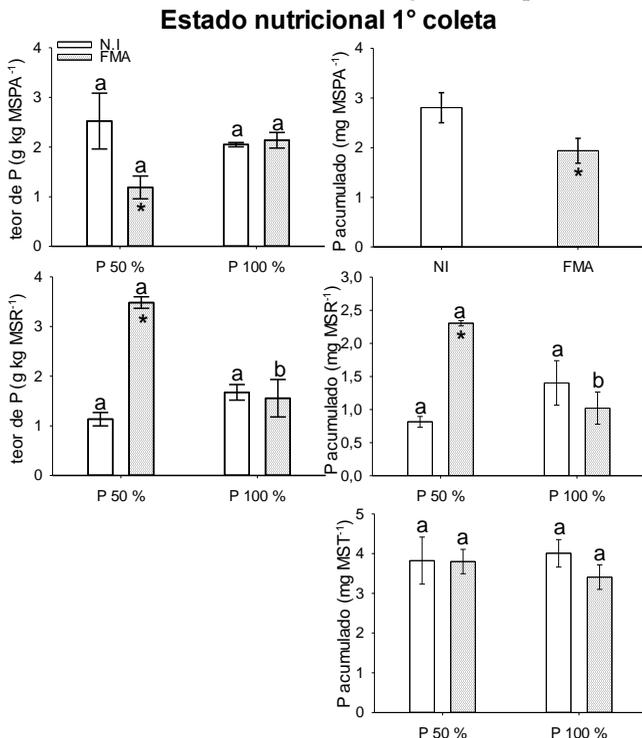
Na terceira coleta não foram observados efeitos significativos nas variáveis de crescimento avaliadas (Figura 48).

Figura 48. Altura, produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) da 3^o coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



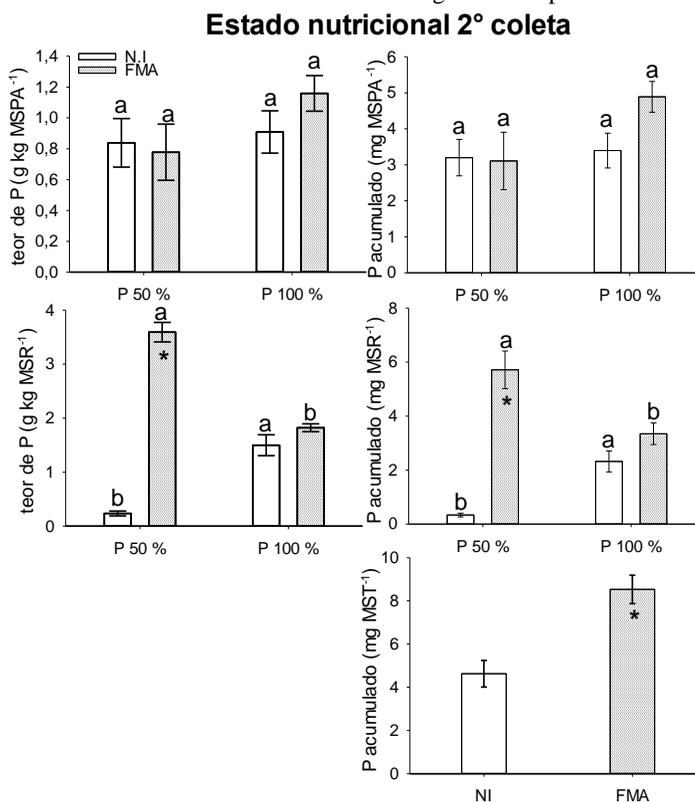
Apesar do trigo não ter apresentado diferenças tão expressivas no crescimento (Figura 46, Figura 47 e Figura 48), os teores e acúmulos de P variaram bastante entre os tratamentos. O teor de P na MSPA na primeira coleta (Figura 49) nas plantas que receberam metade da recomendação de P foi significativamente menor nas plantas inoculadas (redução de 53 % sobre as NI P 50 %), e no acúmulo a inoculação resultou em uma redução de 31 %. De forma contrária, as plantas quando inoculadas e recebendo apenas metade da recomendação de adubação fosfatada, apresentaram os maiores teores e acúmulos de P nos tecidos radiculares, em média 139 e 113 % a mais do que os demais tratamentos. Quando observado o acúmulo total, nenhum foi observado.

Figura 49. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 1ª coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



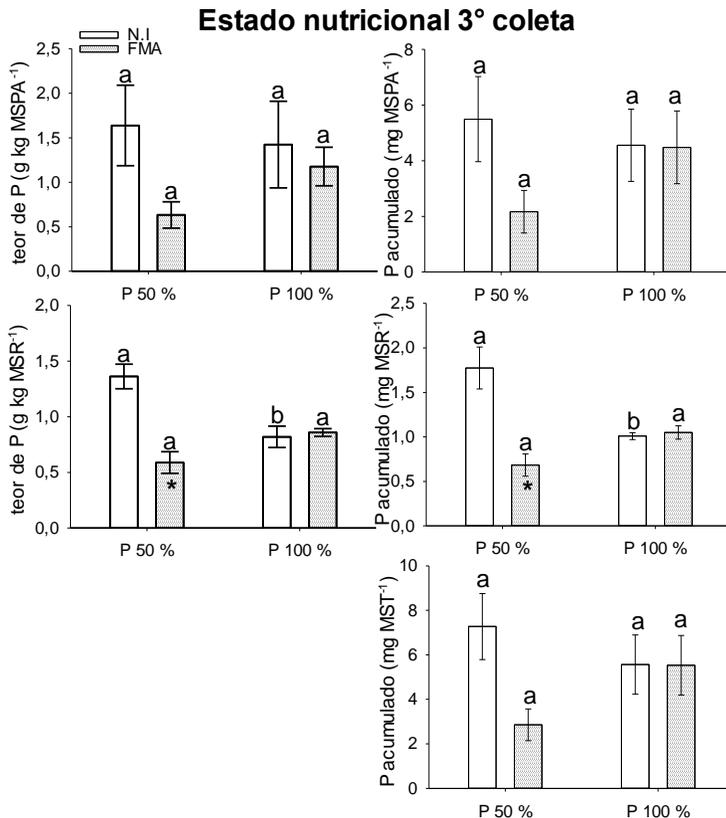
Na segunda coleta (Figura 50) não foram identificadas diferenças estatísticas nos teores e acúmulos de P na MSPA. Os resultados na MSR indicam que a combinação da inoculação e fornecimento de 50 % da dose de P geram os maiores teores e acúmulos de P nos tecidos radiculares, em média 139 e 146 % a mais do que o tratamento não inoculado com 100 % de P, o mesmo comportamento observado na primeira coleta (Figura 49). O acúmulo de P na MST respondeu a inoculação de forma positiva, as plantas inoculadas acumularam 84 % mais P do que as não inoculadas.

Figura 50. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 2ª coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



Os teores e acúmulos de P na MSPA na terceira coleta (Figura 51) não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Nos tecidos radiculares, as avaliações mostraram diferenças significativas em função dos dois fatores. A inoculação nas plantas com 50 % da adubação fosfatada gerou uma redução nos teores e acúmulos de P na MSR, além disso, nas plantas não inoculadas, maiores doses de P resultaram em menores teores e acúmulos de P nos tecidos. Não foi observada nenhuma diferença estatística no acúmulo de P na MST.

Figura 51. Teor e acúmulo de fósforo (P) na matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da 3ª coleta do trigo (*Triticum aestivum*) com e sem inoculante a base de *R. intraradices* em substrato contendo 50 e 100 % da dose recomendada de fósforo. N.I. (não inoculado); FMA (inoculado). (*) efeito significativo da inoculação; letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo para dose de P.



6. DISCUSSÃO

O presente estudo envolveu a avaliação do crescimento de culturas de importância agrícola influenciadas pela adubação fosfatada e aplicação de inoculante micorrízico arbuscular. O P é um nutriente essencial para as plantas e que participa de vários processos metabólicos tais como, transferência de energia, fotossíntese, metabolismo de carboidratos, entre outros (ARAÚJO e MACHADO, 2006), desempenhando importante papel no crescimento vegetal. No Brasil há grande demanda de aplicação de adubos fosfatados devido a exportação de nutrientes das culturas e características de solos intemperizados que apresentam baixa disponibilidade natural (BERNARDI et al., 2002). Apesar de vários trabalhos terem sido conduzidos demonstrando a importância da adubação fosfatada para culturas agrícolas e florestais (SANTOS et al., 2008), no Brasil são inexistentes os estudos que avaliam a interação deste nutriente com inoculantes micorrízicos arbusculares comerciais. Assim, o presente trabalho é pioneiro na avaliação do inoculante comercial Rootella BR à base de *R. intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler para sete culturas anuais e outras duas florestais.

Além da demanda de P, a adubação nitrogenada é essencial para atingir o potencial produtivo das culturas agrícolas, e a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio é uma prática comum em leguminosas como o feijão e a soja, onde a via de fixação bacteriana é a principal fonte de N para essas culturas (HUNGRIA et al. 2013). Neste trabalho, as sementes de feijão e soja foram inoculadas com estirpes recomendadas, sendo elas a CIAT 899 para o feijão e uma combinação de SEMIA5079 e SEMIA 5080 para soja. A co-inoculação com FMA vem sendo estudada, e trabalhos mostram que essa combinação tem um grande potencial para manter ou promover acréscimos na produtividade dessas culturas (SILVA, A. V., 2013; PEREIRA et al., 2013; BURITY et al., 2000). Analisando os resultados deste trabalho a co-inoculação pode promover crescimento e maior acúmulo de P e N, mesmo quando a produção de biomassa de nódulos é reduzida em função da inoculação do FMA, resultado constatado na cultura da soja (Figura 42).

Para a avaliação do inoculante micorrízico, empregamos um Argissolo Vermelho Amarelo de textura franco arenosa (tabela 3) que apresenta elevada acidez e baixa disponibilidade de P. Sabe-se que solos ácidos apresentam menor disponibilidade de P em função da precipitação como fosfatos de Fe ou Al de baixa solubilidade (ZOZ et al., 2009) e, por esta razão foi realizada a correção do pH do solo para

não limitar o crescimento vegetal, pois sabe-se que a calagem do solo é uma prática agrícola comum, e quando realizada corretamente pode aumentar a disponibilidade de P para as plantas (SOUZA et al., 2007). Adicionalmente, a adubação fosfatada foi realizada de modo a fornecer 50 e 100 % (tratamentos P 50 e 100 %) da recomendação para cada cultura conforme atributos físico-químicos do solo empregado. Considerando que a literatura preconiza que a inoculação com FMA possibilita um maior aproveitamento da adubação fosfatada (SMITH e READ, 2008) testou-se no presente trabalho, o efeito da inoculação em um cenário com metade da recomendação de adubação com P para as culturas. Verificou-se que, de maneira geral, pode-se atingir o mesmo crescimento das culturas de algodão e cana-de-açúcar quando estas são inoculadas e com fornecimento de apenas 50 % de P.

De maneira geral, dentre as culturas testadas verificou-se que cana-de-açúcar, soja, milho e pinus foram beneficiadas pelo fornecimento de adubação fosfatada, conforme vários trabalhos desenvolvidos anteriormente em diferentes tipos de solo (CAIONE et al., 2011; BEDIN et al., 2003; RESENDE et al., 2006). Em contrapartida, verificou-se que as culturas eucalipto, trigo, feijão e algodão foram pouco influenciadas ou até prejudicadas pelo aumento da disponibilidade deste nutriente. Tal comportamento pode estar relacionado com a deficiência induzida de Zn em que o aumento do fornecimento de P pode ocasionar redução de Zn na biomassa vegetal por efeitos relacionados à processos físicos, químicos e biológicos nos sistema solo-planta (LOPES e MALAVOLTA, 1974). Segundo os autores, os processos são complexos e podem ocorrer simultaneamente, sendo:

i) inibição não competitiva da enzima de absorção do Zn, em que não há uma competição pelo mesmo sítio ativo, mas a presença de uma concentração elevada de P ligado à outro sítio ativo inibe a reação enzimática, podendo alterar o formato da enzima e reduzir a velocidade da reação enzimática;

ii) o pH rizosférico pode ser alterado com a dissolução dos adubos fosfatados, liberando íons H^+ no meio que podem se ligar e promover a precipitação de Zn;

iii) pode ocorrer um efeito de diluição do Zn nos tecidos vegetais devido ao maior crescimento decorrente do excesso de P disponível no solo (ARAÚJO e MACHADO, 2006).

Visando um dia reduzir o uso de adubos fosfatados e alavancar melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis no solo, um mecanismo interessante e amplamente discutido na literatura para

contribuir na aquisição de P pelas plantas envolve a associação com FMA. Muitos estudos tem comprovado o efeito da colonização micorrízica em plantas agrícolas, e em trabalhos com, em específico a inoculação da espécie *R. intraradices* em diferentes condições, os percentuais de colonização total variam de 30 a 70 % na soja, (BIDONDO et al., 2011; MEGHVANSI e MAHNA, 2009; SPAGNOLETTI e LAVADO, 2015), de 23 a 90 % no milho (ADRIANO-ANAYA et al., 2006; GUO et al., 2014; MALCOVÁ et al., 2003; STOKLOSA et al., 2011), de 23 a 80 % no feijão (BLEE e ANDERSON, 1996; TAJINI et al., 2012), de 20 a 56 % no algodão (AFEK et al., 1990; ORAK e DEMIR, 2011), de 28 a 66 % no trigo (SHARMA et al., 2017), de 30 a 87 % no girassol (AWOTOYE et al., 2009; ADEWOLE et al., 2010). Apesar de que o presente estudo foi realizado em solo não estéril, pode-se verificar que a colonização micorrízica dessas culturas após a inoculação apresentou valores semelhantes aos citados anteriormente. Para cana-de-açúcar, eucalipto e pinus, são escassas as informações sobre a capacidade de colonização micorrízica de *R. intraradices*.

Deve-se destacar que a maioria dos trabalhos avaliam apenas a colonização micorrízica total, enquanto no presente trabalho, são discriminados os valores de estruturas fúngicas como hifas, arbúsculos e vesículas de modo a acompanhar o estabelecimento da simbiose após a aplicação do inoculante micorrízico. Esta avaliação é importante, pois as estruturas fúngicas supracitadas exercem diferentes funções na simbiose micorrízica.

O crescimento dos FMA e desenvolvimento da colonização micorrízica iniciam com a penetração de uma ou mais hifas originadas de propágulos presentes no solo. A penetração se inicia com o crescimento e diferenciação de hifas em apressórios na superfície das raízes, até que as hifas cresçam através da epiderme para alcançar os espaços intracelular e intercelular do córtex (LAMBIAIS e RAMOS, 2010). Uma vez dentro do córtex, o FMA inicia a produção de novas hifas e diferentes estruturas para colonizar outras regiões do sistema radicular, entre as estruturas citam-se os arbúsculos e vesículas. As hifas podem ser mais eficientes na aquisição e fornecimento de nutrientes do solo para as plantas do que próprio sistema radicular (SOUZA et al., 2011), pois conseguem explorar um volume do solo maior, o que se torna uma vantagem em situações de baixa disponibilidade de nutrientes, cenário comum nos solos brasileiros (SMITH e READ, 2008). Durante o ciclo de crescimento e produção das culturas agrícolas, muitos sinalizadores entre planta e FMA são liberados (KIRIACHEK et

al., 2009), estimulando ou inibindo a formação das estruturas fúngicas, podendo alterar proporcionalmente de acordo com a necessidade dos simbiontes, e da função de cada estrutura.

Os arbúsculos são estruturas formadas pela ramificação e enovelamento de hifas (VARMA, 2008), e se estabelecem entre a parede celular e a uma membrana citoplasmática vegetal diferenciada, chamada de peri-arbuscular (FOLLI-PEREIRA et al. 2012), essas estruturas formam-se rapidamente e podem ser renovadas de 4 a 12 dias (KIRIACHEK et al., 2009; GADKAR et al. 2001). Em períodos de maior necessidade de obtenção de água e nutrientes, como simulados neste trabalho com tratamento de 50 % da adubação fosfatada, espera-se que seja observado um percentual maior de arbúsculos, bem como espécies de FMA mais eficientes sejam capazes de produzir maior quantidade de determinadas estruturas em períodos de maior demanda.

No presente estudo o percentual de colonização por arbúsculos foi superior em diferentes coletas nas plantas inoculadas de algodão e feijão, (Figura 1 e Figura 19), e em algumas coletas e determinados tratamentos da cana-de-açúcar (Figura 8), girassol (Figura 24) e soja (Figura 39). Esse aumento significativo devido à inoculação foi mais expressivo nas plantas que receberam apenas metade da adubação fosfatada, reforçando a ideia de que os FMA podem contribuir em situações de baixa disponibilidade de P no solo. A formação de arbúsculos está relacionada com sua função principal de troca de água e nutrientes entre FMA-planta, nutrientes como o fósforo (P), cobre (Cu), nitrogênio, (N), zinco (Zn) e potássio (K) entre outros (Moreira et al. 2010).

A inoculação com FMA pode promover o crescimento das plantas por diferentes meios, entretanto, nem sempre plantas micorrizadas apresentam maior crescimento ou acúmulo de P nos tecidos, pois as respostas podem variar de caso a caso. Esse comportamento também pode ser observado neste trabalho, onde a utilização do inoculante à base de *R. intraradices* promoveu o crescimento das culturas do algodão (Figura 2 e Figura 4), da cana-de-açúcar (Figura 9 e Figura 10), da MSR do girassol (Figura 25) e milho (Figura 32 e Figura 34) e redução da biomassa radicular da soja ao final do ciclo (Figura 42). As culturas que foram beneficiadas pela inoculação no presente trabalho foram classificadas como plantas de alta ou muito alta responsividade aos FMA no trabalho de Cavalcante et al. (2009), em uma revisão de literatura.

Em contrapartida, para a cultura do eucalipto, não foi observada a formação de estruturas de FMA nas raízes, porém a aplicação do

inoculante micorrízico reduziu a produção de biomassa desta planta na primeira coleta (Figura 13) e aumentou na terceira (Figura 15). Sabe-se que apesar de espécies de *Eucalyptus* sp. serem conhecidas por normalmente formarem associação com fungos ectomicorrízicos, estudos já mostram que também se associam com espécies de FMA dos gêneros *Glomus*, *Acaulospora* e *Gigaspora* (COELHO et al., 1997; SANTOS et al. 2001; PAGANO e SCOTT, 2008; ADJOUD et al., 1996; REIS e KRÜGNER, 1990) e que em determinadas situações a simbiose pode estimular seu crescimento.

A colonização radicular por FMA pode proporcionar várias alterações físico-químicas no ambiente que favoreçam o crescimento das plantas, no entanto, como descrito anteriormente, um dos benefícios mais relevantes dessa interação é o maior aporte de P via simbiose, muitas vezes podendo ser observado no aumento dos teores deste elemento nos tecidos vegetais. Para um crescimento normal das plantas no período vegetativo o teor de P deve estar entre 3,0 e 5,0 g kg⁻¹ nos tecidos (MARSCHNER, H. 1995), podendo haver toxicidade se ultrapassar 10 g kg⁻¹. Os valores encontrados nesse trabalho foram muito variados quando observamos os teores na MSR e MSPA (de 0,15 a 6 g kg⁻¹), no entanto, as análises nutricionais normalmente levam em consideração tecidos aéreos, até mesmo restringindo às folhas. Dessa forma, se nos ativermos apenas aos teores de P na MSPA, com exceção da cana-de-açúcar, todas as plantas atingiram a faixa considerada normal. Os maiores teores de P foram verificados na MSR da cana-de-açúcar (Figura 11), do eucalipto (Figura 16), da soja (Figura 44), e do trigo (Figura 49 e Figura 50), e na MSPA do girassol (Figura 29), e do Milho (Figura 36). Houve uma redução dos teores de P observados na MSR do feijão (Figura 22); girassol (Figura 28), milho (Figura 37) e trigo (Figura 48), e na MSPA do milho (Figura 37), e da soja (Figura 44). Os resultados, tanto aumento quanto redução dos teores de P nos tecidos podem ter origem do efeito de diluição ou concentração em relação à produção de biomassa. Outra possibilidade é de que os FMA podem estar se comportando como drenos de P (BERBARA et al., 2006), pois sua demanda de P para manter suas estruturas pode resultar na redução dos teores.

O acúmulo de fósforo das plantas é resultado da associação dos fatores produção de biomassa e teores de P nos tecidos (MSPA, MSR e MST), e a inoculação proporcionou incrementos dessa variável na maioria das plantas estudadas, algumas em função dos maiores teores constatados nos tecidos, da maior produção de biomassa, ou da combinação de ambos. O algodão foi o que apresentou a resposta mais

expressiva à inoculação (Figura 1), sendo beneficiado principalmente pela maior produção de biomassa total (MST) no início do cultivo (Figura 2). O acúmulo de P na MST da cana-de-açúcar (Figura 11), do eucalipto no tratamento P 50 % (Figura 16), do girassol (Figura 29), do milho no tratamento P 100 % (Figura 36), e do trigo (Figura 50) também foram mais elevados em plantas inoculadas, corroborando com trabalhos que mostram que a inoculação pode estimular significativamente o crescimento, e aumentar o acúmulo de P de plantas micorrizadas com FMA (ANDRADE et al. 2003; REIS et al., 2008; BALOTA et al., 2010).

Com exceção do eucalipto na primeira e segunda coleta (Figura 16 e Figura 17) e milho na terceira coleta (Figura 37), em nenhuma outra situação a inoculação reduziu o acúmulo de P na MST das plantas. Os dados adquiridos das plantas das terceiras coletas (final do ciclo) devem ser examinados com cautela, pois a limitação de crescimento das plantas em função do tamanho dos vasos ficou muito clara quando em todas as repetições as raízes haviam crescido e ocupado todo o volume de solo disponível, grande parte das vezes enovelando-se ao fundo do recipiente.

Como discutido anteriormente, os mecanismos pelos quais as plantas podem ou não responder em diferentes intensidades à adubação fosfatada e à inoculação de FMA via produtos comerciais são os mais diversos, e cada planta apresenta suas particularidades. Porém, observações mais amplas quanto à responsividade geral das plantas ao inoculante podem ser realizadas utilizando análises relativamente fáceis de serem processadas e encontradas em estudos similares para comparação, como a MST, a colonização radicular e o acúmulo de P. Para isso, uma tabela com uma escala de intensidade do efeito da inoculação nos resultados deste trabalho foi desenvolvida com o intuito de observar o efeito do uso do produto nas nove culturas (Tabela 4). Nessa tabela são apresentados os efeitos da inoculação em cada período de coleta em que se comparam as plantas inoculadas em P 50 e P 100 % com o tratamento comumente empregado no cultivo agrícola (adubação recomendada de P sem inoculação).

cada uma das plantas, pois o aumento dos valores de MST, colonização radicular e acúmulo de fósforo não foram proporcionais entre eles em todos os casos. Esse fato pode ser observado nas plantas inoculadas de milho que tiveram um aumento significativo de mais de 50 % na colonização radicular, porém esse aumento de forma geral não resultou em aumentos significativos na MST ou acúmulo de P. Esses resultados ficam mais compreensíveis quando analisamos o padrão da colonização radicular das plantas de milho inoculadas (Figura 31), em que houve uma parcela significativa do percentual de colonização composta por vesículas. As vesículas são estruturas de formato globoso que se formam intra e extracelularmente e tem a função de reservar lipídeos para o fungo, sendo que nem todos os gêneros dos Glomeromycotas formam tais estruturas (SOUZA et al., 2010). Dessa forma, essas estruturas não apresentam funcionalidade de troca de nutrientes apresentando limitada contribuição para o crescimento do milho.

De maneira distinta ao milho, notou-se uma forte relação entre o maior acúmulo de fósforo e o aumento da produção de MST na cana-de-açúcar das plantas inoculadas, mas o percentual de colonização não apresentou o mesmo comportamento (Tabela 4). De maneira geral, a colonização radicular não foi distinta entre as plantas inoculadas e não inoculadas (Figura 8), mas mesmo assim o efeito da inoculação é evidente. Desta forma, pode-se afirmar que a colonização por meio do inoculante, quando se trata de aumentar o aporte de P e estimular o seu crescimento, é mais eficiente do que a dos FMA autóctones para a cana-de-açúcar.

O algodão foi a planta que apresentou melhor resposta entre a produção de biomassa e o percentual de colonização, sendo esse efeito mais intenso no início do cultivo (1º coleta), mas se estendeu até o final do cultivo, como pode ser observado na Tabela 4. As plantas inoculadas com o produto comercial formaram mais arbúsculos do que as não inoculadas, e esse fato pode ter relação com a eficiência e compatibilidade do inoculante associado ao algodão.

As respostas relevantes do girassol à inoculação aconteceram na segunda coleta (Tabela 4), acompanhando o aumento do percentual de colonização radicular (Figura 24). Para essa cultura a inoculação promoveu incrementos no acúmulo de P, mas isso não resultou em maior produção de biomassa. Assim, são necessários estudos com esta cultura até o final do seu ciclo de modo a comprovar se o aumento da absorção de P mediada pela aplicação do inoculante micorrízico pode aumentar a produtividade de grãos de girassol. Observando os resultados de crescimento e acúmulos de P manifestados pelas plantas que foram

beneficiadas pelo inoculante na tabela 4, percebe-se que o método de avaliação apenas da colonização total não é eficiente em todos os casos para ser utilizado como referência de efetividade, e que a participação percentual de estruturas como arbúsculos e vesículas não apresentam relação direta com a produção de biomassa e acúmulos de P nos tecidos vegetais.

Quando são constatados acréscimos na colonização radicular, mas isso não favorece o crescimento ou produtividade das plantas, mesmo havendo formação de estruturas como hifas e arbúsculos, pode-se afirmar que as plantas respondem de maneira diferente ao simbiote na situação imposta pelo experimento, e como consequência a eficiência da simbiose muda. Esse efeito foi observado na soja e no trigo (Tabela 4), onde em ambiente controlado as respostas de crescimento não foram tão expressivas, mas como apresentado em relatório de registro junto ao MAPA (n° 22902 10000-0) a inoculação promoveu em média acréscimos de 24 % na produtividade à campo da soja, e 54 % no milho, dado este que não pôde ser avaliado neste trabalho devido às condições de ambiente controlado com limitação principalmente de volume de solo explorado pelas raízes.

Os resultados do presente trabalho demonstram variações nas respostas do uso do inoculante comercial à base de *R. intraradices*. As culturas do algodão, cana-de-açúcar e girassol que foram responsivas à inoculação em condições controladas, devem também ser avaliadas em condições a campo para demonstrar a eficiência agronômica do produto conforme é exigido pela legislação (IN SDA 13, de 25/03/2011, e a IN SDA 53, de 24/10/2013). Tal avaliação já foi realizada para as culturas de soja e milho que permitiu o registro do produto junto ao MAPA conforme discutido anteriormente. Outras culturas menos responsivas no presente trabalho como o trigo e feijão também merecem ser avaliadas a campo, uma vez os efeitos benéficos da inoculação são mais evidentes em condições edafoclimáticas limitantes para o crescimento vegetal, dado ao caráter biofertilizador, biorregulador e biocontrolador dos FMA (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Cada situação de plantio e suas particularidades estruturam um ambiente único que vai proporcionar estímulos tanto sobre as plantas, quanto sobre o simbiote, e dessa forma beneficiar ou não o crescimento vegetal. Conhecer a biologia dessa interação nas diferentes situações é essencial para posteriormente serem realizadas recomendações de uso de inoculantes micorrízicos arbusculares no Brasil e métodos de avaliação e amostragem confiáveis que certifiquem a eficiência e necessidade destes produtos na agricultura.

7. CONCLUSÕES

O inoculante micorrízico comercial à base de *Rhizophagus intraradices* favoreceu o crescimento das culturas de algodão, cana-de-açúcar, girassol e milho, enquanto que as plantas de eucalipto, feijão, soja, pinus e trigo foram pouco responsivas.

O inoculante promoveu o aumento da colonização total nas culturas de algodão, milho e soja.

A aplicação do inoculante aumentou a absorção de P nas culturas de algodão, cana-de-açúcar, girassol, milho e trigo.

Comparando-se os efeitos da inoculação com os tratamentos de adubação fosfatada empregados em cultivos agrícolas, verificou-se que as culturas do algodão, cana-de-açúcar, milho e girassol são as mais responsivas e apresentam potencial para serem testadas quanto à eficiência agrônômica a campo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEWOLE, M. B., AWOTOYE, O. O.; OHIEMBOR, M. O.; SALAMI, A. O. Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediating potential and yield of sunflower in Cd and Pb polluted soils. *Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 55, No. 1, 2010.
- ADJOURD, D., PLENCHETTE, C., HALLI-HARGAS, R., & LAPEYRIE, F. (1996). Response of 11 eucalyptus species to inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 6(2), 129–135.
- ADRIANO-ANAYAB, M. L.; SALVADOR-FIGUEROA, M.; OCAMPOA, J. A., GARCÍA-ROMERAA, I. Hydrolytic enzyme activities in maize (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) roots inoculated with *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology & Biochemistry* 38 (2006) 879–886.
- AFEK, U.; RINALDELLI, E.; MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V.; POND, E. Mycorrhizal Species, Root Age, and Position of Mycorrhizal Inoculum Influence Colonization of Cotton, Onion, and Pepper Seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(6):938-942. 1990.
- AGTIV®. WITH AGTIV® DUAL INOCULANT PRODUCTS. 2017. Disponível em: <<http://www.ptagtiv.com/en/active->

ingredients/# mycorrhizae_and_rhizobium> . Acesso em: 29/08/17.

ANDRADE, S. A. L.; ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; SILVEIRA, A. P. D. Interação de chumbo, da saturação por bases do solo e de micorriza arbuscular no crescimento e nutrição mineral da soja. R. Bras. Ci. Solo, 27:945-954, 2003

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, T. T. M. cap. Fósforo. Pg 253-280. In: Fernandes, M. S. Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 432p, ISBN 85-86504-02-5. 2006.

ARDAKANI, M. R.; MAZAHERI, D.; MAFAKHERI, S.; MOGHADDAM, A. Absorption efficiency of N, P, K through triple inoculation of wheat (*Triticum aestivum* L.) by *Azospirillum brasilense*, *Streptomyces* sp., *Glomus intraradices* and manure application. Physiol Mol Biol Plants. 17(2):181–192, 2011.

AWOTOYE O. O.; ADEWOLE, M. B.; SALAMI, A. O.; OHIEMBOR, M. O. Arbuscular mycorrhiza contribution to the growth performance and heavy metal uptake of *Helianthus annuus* LINN in pot culture. Afr. J. Environ. Sci. Technol. Vol. 3 (6), pp. 157-163, 2009

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V.; CERZINI, P.; SCHERER, A. Efeito dos fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes doses de fósforo no girassol e amendoim.

Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer, vol.6, N.11;
2010

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.;
TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e
produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão
de fosfato. R. Bras. Ci. Solo, 27:639-646, 2003.

BERBARA, R. L. L.; SUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos
micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In:
FERNANDES, M. S. Nutrição Mineral de Plantas, 432p.
SBCS, Viçosa, 2006.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A., SILVA, C. A.
Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In:
MANZATTO, C. M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R.
Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa
Solos. 2002. p. 61-77.

BIDONDO, L. F.; SILVANI, V.; COLOMBO, R.; PÉRGOLA, M.;
BOMPADRE, J.; GODEAS, A. Pre-symbiotic and symbiotic
interactions between *Glomus intraradices* and two
Paenibacillus species isolated from AM propagules. In vitro
and in vivo assays with soybean (AG043RG) as plant host. Soil
Biology & Biochemistry. 2011.

BLEE, K. A.; ANDERSON, A. J. Defense-Related Transcript
Accumulation in *Phaseolus vulgaris* L. Colonized by the

Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus intraradices* Schenck & Smith. Plant Physiol. Vol. 11 O, 1996

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. Adubação do Algodoeiro no Ambiente de Cerrado. Comunicado técnico 375. ISSN - 0100-7084, 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral. Coord. Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília, 2016.

BURITY, H. A. LYRA, M. C. C. P.; SOUZA, E. S.; MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, M. L. R. B. Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo. Pesq. agropec. bras. Brasília, v.35, n.4, p801-807, abr. 2000.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A.S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.8, p.823–831, 2011.

CAIONE, G.; TEIXEIRA, M. T. R.; LANGE, A.; SILVA, A. F.; FERNANDES, F. M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana de açúcar forrageira cultivada em latossolo vermelho amarelo. Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v.9, n.1, p.1- 11, 2011.

CALDAS, J.; CASTELÕES, L. Embrapa Notícias: Custeio das lavouras pode ser reduzido de forma drástica com manejo adequado da adubação fosfatada. 2017. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/web/mobile/noticias/-/noticia/21511726 / custeio-das-lavouras-pode-ser-reduzido-de-forma-drastica-com-manejo-adequado-da-adubacao-fosfatada](https://www.embrapa.br/web/mobile/noticias/-/noticia/21511726/custeio-das-lavouras-pode-ser-reduzido-de-forma-drastica-com-manejo-adequado-da-adubacao-fosfatada)>. Acesso em: 29/08/17.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, vols. 5 e 6, p.180-208, 2009.

COELHO, F. B. et al. Caracterização e incidência de fungos micorrízicos em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, nos municípios de Botucatu, São José dos Campos e São Miguel Arcanjo, São Paulo. Revista *Árvore*, v.21, n.4, p.563-573, 1997.

CONTROL BIO. Soluciones agrobiológicas para el huerto y el jardín. 2017. Disponível em: <<http://controlbio.es/es/247-glomus-intraradices>> Acesso em: 29/08/17.

CORNEJO, P.; MEIER, S.; BORIE, G.; RILLING, M. C.; BORIE, F. Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. *Science of the Total Environment*, v. 406, n. 1-2, p. 154-160, 2008.

- FERREIRA, D. F. Sistemas de análise estatística para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 141 p.
- FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. Rev. Bras. Ciênc. Solo. vol.36 no.6 Viçosa. 2012.
- GADKAR, V.; DAVID-SCHWARTZ, R.; KUNIK, T.; KAPULNIK, Y. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. Plant Physiology 127: 149-1499. 2001.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. DOCUMENTOS FLORESTAIS, Piracicaba (15): 1 –23, 1995.
- GONZÁLEZ-CHAVÉZ, M. C.; CARRILLOGONZÁLEZ, R.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. Environmental Pollution, v. 130, n. 3, p. 317- 323, 2004.
- GUO, W.; ZHAO, R.; FU, R.; BI, N. WANG, L.; ZHAO, W.; GUO, J.; ZHANG, J. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to the development of maize (*Zea mays* L.) grown in three types of coal mine spoils. Environ Sci Pollut Res (2014) 21:3592–3603
- HOSPITAL DAS PLANTAS. Micorriza arbuscular para cultivo – Mycorrhizae. 2017. Disponível em:

<http://www.hospitaldasplantas.com.br/fertilizantes-e-suplementos/115-micorriza-arbuscular-para-cultivo.html>>.

Acesso em: 29/08/17.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja. Londrina: Embrapa Soja, 22 p. ISSN 2176-2937, 2013.

KIERS, E. T.; VAN DER HEIJDEN, G. A. Mutualistic stability in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: exploring hypotheses of evolutionary cooperation. *Ecology*, 87:1627- 1636, 2006.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B.; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1-16, 2009.

KLEIN, C; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente! *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. v(8), nº 8, p. 1713-1721, 2012.

KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhiza. *Mycological Research*, v. 92, p. 486-505, 1989.

LAMBAIS, M. R.; RAMOS, A. C. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. p. 119-132. In: Siqueira, J. O.; Souza, F. A.; Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M. *Micorrizas*: 30

anos de pesquisas no Brasil. Ed. Lavras:UFLA, 716p. ISBN 978-85-87692-90-0, 2010.

LOPEZ G. O. E.; MALAVOLTA, E.. Estudos sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição da planta. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz vol.31 Piracicaba, 1974.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. Biosci. J., Uberlândia, v. 28, supplement 1, p. 1-7, 2012.

MALCOVÁ, R.; VOSÁTKA, M.; GRYNDLER, M. Effects of inoculation with *Glomus intraradices* on lead uptake by *Zea mays* L. and *Agrostis capillaris* L. Applied Soil Ecology 23 (2003) 55–67

MANUAL. Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MAPA. Estatística e Dados Básicos da Economia Agrícola. Secr. de Política Agr. Dep. Créd. e Est. Econ. 2017.

MARSCHNER, H. Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients. p. 229-314. In: Mineral nutrition of Higher Plants. 889p. Academic Press. ISBN: 9780124735439 (1995).

- MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159: 89– 102. 1994.
- McGONIGLE, T. P.; MILLERS, M. H.; EVANSG, D. G.; FAIRCHILD, L.; SWAN, J. A.. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* (1990), 115, 495.
- MEGHVANSI, M. K.; MAHNA, S. K. Evaluating the Symbiotic Potential of *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium japonicum* in Vertisol with Two Soybean Cultivars. *American-Eurasian Journal of Agronomy* 2 (1): 21-25, 2009.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. p.543- 662 In: *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2. Ed. Atual. E ampl. – Lavras: Editora UFLA, ISBN: 85-87692-33-x, 2006.
- MUNIER-LAMY, C.; DENEUX-MUSTIN, S.; MUSTIN, C.; MERLET, D.; BERTHELIN, J.; LEYVAL, C. Selenium bioavailability and uptake as affected by four different plants in a loamy clay soil with particular attention to mycorrhizae inoculated ryegrass. *J. Environ. Radioactiv.*, 97:148-158, 2007.
- MYKE® PRO PRODUCTS. 2017. Disponível em: <<http://www.mykepro.com/myke-pro-mycorrhizae-product.aspx>>. Acesso em: 29/08/17
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, DPS,1999.

- ORAK, A. B.; DEMIR, S. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Different Phosphorus Doses Against Cotton Wilt Caused *Verticillium dahliae* Kleb. *Plant Pathology Journal*, 10: 108-114, 2011.
- ORQUIDÁRIO HORTOLÂNDIA. Adubo orgânico MCL. 2017. Disponível em: <http://loja.orquidariohortolandia.com.br/index.php?route=product/product&product_id=95> . Acesso em: 29/08/17
- PAGANO, M. C.; SCOTTI, M. R.; Arbuscular and ectomycorrhizal colonization of two Eucalyptus species in semiarid Brazil. *Mycoscience* 49:379–384, 2008.
- PEREIRA, M, G.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; STAMFORD, N. P.; ROCHA, G. S. D. C.; BARBOSA, A. T. Interações entre fungos micorrízicos arbusculares, rizóbio e actinomicetos na rizosfera de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.12, p.1249–1256, 2013.
- PRIOR, M.; SMANHOTTO; A.; SAMPAIO, S. C.; NOBREGA, L. H. P.; OPAZO, M. A. U.; DIETER. J. Acumulacion y percolación de fósforo en suelo devido a la aplicación resíduos de agua de la suinocultura en la ciltura del maíz.(*Zea mays* L.). *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*. v2, n1, ISSN 1983-6325. 2009.

- REIS, M. F.; KRÜGNER, T. L.. Avaliação do Efeito de Fungos Formadores de Micorrizas Vesicular-Arbusculares no Desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* em Condições de Casa De Vegetação. IPEF, n.43/44, p.79-83, 1990.
- REIS, E. F; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; ROTTA, D. A.; SOUSA, M. Y.; Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.9, p.2441-2447, dez, 2008.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A. CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 30:453-466, 2006
- SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr, 2008.
- SANTOS, V. L.; MUCHOVEJ, R. M.; BORGES, A. C.; NEVES, J. C. L.; KASUYA, M. C. M. Vesicular-arbuscular-/ecto-mycorrhiza succession in seedlings of *Eucalyptus* spp. Braz. J. Microbiol. vol.32 no.2 São Paulo, 2001.
- SENA, J. O. A.; ; STEFANUTTI, R.; DONHA, R. M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Cinética de absorção com doses de fósforo e fungos

micorrízicos arbusculares em *Nicotiana tabacum*. Científica, Jaboticabal, v.42, n.3, p.294-298, 2014.

SHARMA, S.; GARIMA ANAND, G.; NEERAJA SINGH, N.; AND RUPAM KAPOOR, R. Arbuscular Mycorrhiza Augments Arsenic Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) by Strengthening Antioxidant Defense System and Thiol Metabolism. Arsenic Stress Alleviation by AM, 2017.

SILVA, A. V. Eficiência simbiótica da inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *gliricídia*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. 2013.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal Symbiosis, 3rd Edn. London: Academic. 2008.

SOUZA, F. A. de; GOMES, E. A.; VASCONCELOS, M. J. V. de; SOUSA, S. M. de. Micorrizas Arbusculares: Perspectivas para Aumento da Eficiência de Aquisição de Fósforo (P) em Poaceae – Gramíneas. Sete Alagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo,. 30 p. Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 134. 2011.

SOUZA, F. A. de; STÜRMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Lavras: UFLA, 716 p. 15-73 p.. 2010.

- SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P, R. F.;
Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e
adubação orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 31:1535-1544, 2007.
- SPAGNOLETTI, F.; LAVADO, R. S. The Arbuscular Mycorrhiza
Rhizophagus intraradices Reduces the Negative Effects of
Arsenic on Soybean Plants. Agronomy 2015.
- STOKLOSA, A.; NANDANAVANAM, R.; PUCZEL, U.;
UPADHYAYA, M. K. Influence of isoxaflutole on colonization
of corn (*Zea mays* L.) roots with arbuscular mycorrhizal fungus
Glomus intraradices. Canadian Journal of Plant Science, 2011,
91(1): 143-145
- TAJINI, F.; TRABELSI, M.; DREVON, J. Combined inoculation with
Glomus intraradices and *Rhizobium tropici* CIAT899 increases
phosphorus use efficiency for symbiotic nitrogen fixation in
common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Saudi Journal of
Biological Sciences (2012) 19, 157–163.
- TANG, M.; CHEN, H.; HUANG, J.C. & TIAN, Z.Q. AM fungi effects
on the growth and physiology of *Zea mays* seedlings under
diesel stress. Soil Biol. Biochem., 41:936-940, 2009.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. Análise de solos,
plantas e outros materiais. Boletim Técnico de Solos, 5. 2. ed.
Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

VARMA, A. Mycorrhiza. State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3 ed. 2008.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MACEK, I.; ELTEREN VAN, J. T.; KOVACENIC, M. The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil. Science of the Total Environment, v. 392, n. 1, p. 130-136, 2008.

ZOZ, T.; LANA, M. C; STEINER, F.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Influência do pH do solo e de fertilizantes fosfatados sobre a adsorção de fósforo em latossolo vermelho. Synergismus scyentifica UTFPR, Pato Branco, 04(1). 2009.