

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INOCULAÇÃO DE *PSEUDOMONAS* VIA SEMENTE E EFICIÊNCIA
AGRONÔMICA DE FOSFATOS NA CULTURA DO MILHO**

LUÍS EDUARDO RISSATO ZAMARIOLLI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrônômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP

Junho – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INOCULAÇÃO DE *PSEUDOMONAS* VIA SEMENTE E EFICIÊNCIA
AGRONÔMICA DE FOSFATOS NA CULTURA DO MILHO**

LUÍS EDUARDO RISSATO ZAMARIOLLI

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP

Junho – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Z23i Zamariolli, Luís Eduardo Rissato, 1967-
Inoculação de *Pseudomonas* via semente e eficiência agronômica de fosfatos na cultura do milho / Luís Eduardo Rissato Zamariolli. - Botucatu : [s.n.], 2016
xii, 87 f. : grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Leonardo Theodoro Büll
Inclui bibliografia

1. Milho - Cultivo. 2. Milho - Inoculação. 3. Microorganismos do solo. 4. Solos - Teor de fósforo. I. Büll, Leonardo Theodoro. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

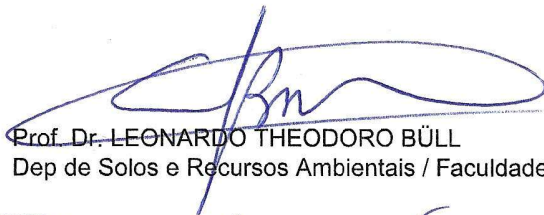
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "INOCULAÇÃO DE *PSEUDOMONAS* VIA SEMENTE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NA CULTURA DO MILHO"

AUTOR: LUÍS EDUARDO RISSATO ZAMARIOLLI

ORIENTADOR: LEONARDO THEODORO BÜLL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LEONARDO THEODORO BÜLL

Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. CLAUDINEI PAULO DE LIMA

Agronomia / FACULDADES INTEGRADAS DE OURINHOS

Botucatu, 09 de setembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Livia e aos meus filhos Mariana e Filipe pelo apoio e compreensão.

A Fundação Shunji Nishimura de Tecnologia pela oportunidade da realização do mestrado.

Aos colegas e amigos Prof. Dr. Elvio Brasil Pinotti e Alexandre de Moura Guimarães pelo apoio na realização dos trabalhos, pelo incentivo e companheirismo.

Aos funcionários do laboratório de análises agronômicas da Fundação Shunji Nishimura de Tecnologia pela colaboração na execução dos trabalhos.

Aos estagiários da FATEC Shunji Nishimura pelo valioso auxílio na execução dos trabalhos.

Ao professor Dr. Leonardo Theodoro Büll pela orientação e amizade.

Aos membros da banca examinadora pelas sugestões para melhoria do trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XII
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1 Fósforo no solo.....	7
2.1.1 Fósforo nos solos tropicais.....	7
2.1.2 Formas e dinâmica do fósforo no solo.....	7
2.1.3 Fatores que afetam a disponibilidade.....	10
2.2 Fontes de fósforo e manejo da adubação fosfatada.....	11
2.2.1 Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados.....	11
2.2.2 Principais fertilizantes fosfatados.....	13
2.2.3 Manejo da adubação fosfatada.....	18
2.2.4 Adubação fosfatada na cultura do milho.....	19
2.3 Solubilização microbiana de fosfatos.....	20
2.3.1 Aspectos gerais.....	20
2.3.2 Microorganismos solubilizadores de fosfato.....	22
2.3.3 Mecanismos de solubilização.....	25
2.3.4 Solubilização microbiana de fosfatos: testes de campo.....	27
2.3.5 Perspectivas futuras e comercialização de inoculantes.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Descrição do local.....	31
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	31
3.2.1 Experimento 1.....	31
3.2.2 Experimento 2.....	32
3.3 Preparo da área e implantação dos experimentos.....	33
3.4 Condução dos experimentos.....	33
3.5 Caracterização do clima e balanço hídrico.....	34
3.6 Avaliações.....	34

3.6.1 Teor de fósforo na folha.....	35
3.6.2 Altura da planta.....	35
3.6.3 Diâmetro do colmo.....	35
3.6.4 Comprimento da espiga.....	35
3.6.5 Diâmetro da espiga.....	36
3.6.6 Número de fileiras de grãos por espiga.....	36
3.6.7 Número de grãos por fileira.....	36
3.6.8 Número de grãos por espiga.....	36
3.6.9 Massa de 100 grãos.....	36
3.6.10 Produtividade.....	36
3.6.11 Teor de fósforo no grão.....	37
3.6.12 Índice de eficiência agrônômica dos fosfatos.....	37
3.7 Análise estatística.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Experimento 1.....	38
4.1.1 Teor de fósforo na folha.....	38
4.1.2 Altura da planta.....	41
4.1.3 Diâmetro do colmo.....	44
4.1.4 Comprimento da espiga.....	46
4.1.5 Diâmetro da espiga.....	47
4.1.6 Número de fileira de grãos.....	48
4.1.7 Número de grãos por fileira.....	50
4.1.8 Número de grãos por espiga.....	51
4.1.9 Massa de 100 grãos.....	52
4.1.10 Produtividade.....	54
4.1.11 Teor de fósforo no grão.....	55
4.1.12 Índice de eficiência agrônômica de fosfatos.....	57
4.2 Experimento 2.....	58
4.2.1 Teor de fósforo na folha.....	58
4.2.2 Altura da planta.....	60
4.2.3 Diâmetro do colmo.....	61
4.2.4 Comprimento da espiga.....	62
4.2.5 Diâmetro da espiga.....	63

4.2.6 Número de fileira de grãos.....	63
4.2.7 Número de grãos por fileira.....	64
4.2.8 Número de grãos por espiga.....	65
4.2.9 Massa de 100 grãos.....	65
4.2.10 Produtividade.....	66
4.2.11 Teor de fósforo no grão.....	67
5 CONCLUSÃO.....	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características químicas e físicas da área do experimento.....	31
Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento 1.....	32
Tabela 3. Tratamentos utilizados no experimento 2.....	32
Tabela 4. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo na folha de plantas de milho (g kg^{-1} de m.s) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	39
Tabela 5. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de teor de fósforo na folha de plantas de milho (g kg^{-1} de m.s) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	40
Tabela 6. Teores de macronutrientes na folha de milho (g kg^{-1} de m.s.).....	40
Tabela 7. Teores de micronutrientes na folha de milho (mg kg^{-1} de m.s.).....	41
Tabela 8. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de altura de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	42
Tabela 9. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de altura de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	44
Tabela 10. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de diâmetro de colmo de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	44
Tabela 11. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de diâmetro de colmo de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem	

inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	45
Tabela 12. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de comprimento de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	46
Tabela 13. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de comprimento de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	47
Tabela 14. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de diâmetro de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	48
Tabela 15. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de diâmetro de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	48
Tabela 16. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de fileira de grãos em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	49
Tabela 17. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de fileira de grãos em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	50
Tabela 18. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por fileira em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	50

Tabela 19. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por fileira em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	51
Tabela 20. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por espiga de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	52
Tabela 21. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por espiga de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	52
Tabela 22. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de massa de 100 grãos de milho (g) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	53
Tabela 23. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de massa de 100 grãos de milho (g) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	54
Tabela 24. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de produtividade de milho (kg ha^{-1} a 13% de umidade) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	54
Tabela 25. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de produtividade de milho (kg ha^{-1} a 13% de umidade) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	55
Tabela 26. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de	

variação e suas interações e médias de teor de fósforo no grão de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	56
Tabela 27. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de teor de fósforo no grão de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>) e tratamento adicional (superfosfato triplo).....	57
Tabela 28. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo na folha de plantas de milho (g kg^{-1} de m.s) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	59
Tabela 29. Teores de macronutrientes na folha de milho (g kg^{-1} de m.s.).....	60
Tabela 30. Teores de micronutrientes na folha de milho (mg kg^{-1} de m.s.).....	60
Tabela 31. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de altura de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	60
Tabela 32. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de diâmetro do colmo de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	62
Tabela 33. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de comprimento de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	62
Tabela 34. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de diâmetro de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	63
Tabela 35. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de fileira de grãos de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação,	

<i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	64
Tabela 36. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de grãos por fileira de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	64
Tabela 37. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de grãos por espiga de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	65
Tabela 38. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de massa de 100 grãos de milho (g) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	65
Tabela 39. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de produtividade de milho (kg ha^{-1} a 13% de umidade) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	66
Tabela 40. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo em grão de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas SB</i>).....	67

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Deficiência, excedente, retirada e reposição de água no solo para armazenamento de 100mm, durante o período experimental, de janeiro de 2014 a outubro de 2014, Pompéia (SP), 2014.....	34
Figura 2. Índice de eficiência agrônômica das fontes de fósforo utilizadas nos tratamentos para produtividade de grãos).....	58

RESUMO

Os solos de regiões tropicais necessitam da aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados, cuja utilização é limitada pelo custo. Fosfatos naturais podem ser uma alternativa interessante, porém apresentam baixa solubilidade. A utilização de microorganismos solubilizadores pode aumentar a solubilidade desses fosfatos. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação das bactérias *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* via semente, associadas a fontes de baixa solubilidade de fósforo, no desenvolvimento e componentes de produtividade do milho. Foram implantados dois experimentos de campo, em um Argissolo vermelho amarelo distrófico arênico no município de Pompéia (SP), na safra 2014. No experimento 1 o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, num esquema fatorial 3 x 3 +1, envolvendo fontes de fósforo (sem fósforo, fosfato de Arad, apatita), microorganismos (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas SB*) e um tratamento adicional (superfosfato triplo), com solo corrigido com calcário. No experimento 2, o delineamento experimental foi o mesmo, num esquema fatorial 2 x 3, envolvendo fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad) e microorganismos (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas SB*), com o solo sem correção de acidez. As variáveis analisadas foram: teor de fósforo na folha, altura da planta e diâmetro do colmo (no florescimento), comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de fileira de grãos por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos, produtividade, teor de fósforo no grão e índice de eficiência agrônômica dos fosfatos. No experimento 1, a inoculação não promoveu alterações na altura da planta e diâmetro do colmo. Para teor de fósforo na folha a inoculação com *Pseudomonas SB* promoveu aumento no teor de fósforo foliar quando não foi utilizada nenhuma fonte de fósforo. Para as variáveis de produção, a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* aumentou o diâmetro da espiga e número de fileira de grãos quando associada com apatita e o número de grãos por espiga. A inoculação com *Pseudomonas fluorescens* aumentou a produtividade em relação a inoculação com *Pseudomonas SB*, porém não diferiu das plantas que não receberam inoculação. A associação de *Pseudomonas fluorescens* com apatita e fosfato de Arad aumentou o teor de fósforo no grão. No experimento 2, a inoculação com *Pseudomonas SB* proporcionou um decréscimo na altura da planta e diâmetro do colmo em relação às plantas inoculadas com

Pseudomonas fluorescens e aumento no teor de fósforo no grão em relação às inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* e não inoculadas e adubadas com apatita.

Palavras chaves: fósforo; inoculação; microorganismos; solubilização.

INOCULATION OF *PSEUDOMONAS* VIA SEED AND AGRONOMIC EFFICIENCY OF PHOSPHATES IN MAIZE. Botucatu, 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LUÍS EDUARDO RISSATO ZAMARIOLLI

Advisor: LEONARDO THEODORO BÜLL

SUMMARY

Tropical soils require the application of high doses of phosphate fertilizers, which usage is limited by cost. Natural phosphates can be an interesting alternative, but exhibit low solubility. The use of solubilizing microorganisms can increase the solubility of these phosphates. The objective of this paper was to evaluate the effects of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas SB* bacteria inoculation on seed, associated with sources of low solubility phosphorus, on the development and productivity components of maize. Two field experiments were conducted in a yellow Paleudalf in the city of Pompeia (SP), in 2014. In experiment 1 the experimental design was a randomized complete block design with four replications, in a factorial 3 x 3 + 1, involving phosphorus sources (without phosphorus, Arad phosphate, apatite), microorganisms (without inoculation, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas SB*) and an additional treatment (triple superphosphate) with soil acidity adjusted with lime. In experiment 2, the experimental design was the same, in a factorial 2 x 3, involving phosphorus sources (apatite, Arad phosphate) and microorganisms (without inoculation, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas SB*), without soil acidity adjustment. The variables analyzed were: phosphorus content in the leaf, the plant height and stem diameter (at flowering), ear length, ear diameter, row number of grains per ear, number of kernels per row, number of grains per ear, weight of 100 grains, productivity, phosphorus content in grain and phosphate agronomic efficiency. In experiment 1, inoculation did not change the height of the plant and stem diameter. For phosphorus content in the leaf, the inoculation with *Pseudomonas SB* promoted increase in leaf phosphorus content when it was not used any source of phosphorus. For production variables, inoculation with *Pseudomonas fluorescens* increased the ear diameter and row number of grains when associated with apatite and the

number of grains per ear. Inoculation with *Pseudomonas fluorescens* increased productivity compared to inoculation with *Pseudomonas SB*, but did not differ from plants that received no inoculation. *Pseudomonas fluorescens* association with apatite and Arad phosphate increased the phosphorus content in the grain. In experiment 2, inoculation with *Pseudomonas SB* provided a decrease in plant height and stem diameter compared to plants inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and increased phosphorus content in the grain compared to plants inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and not inoculated and fertilized with apatite.

Key words: phosphorus; inoculation; microorganisms; solubilization.

1 INTRODUÇÃO

A deficiência de fósforo é um dos principais desafios para a agricultura em solos tropicais. Esses solos apresentam grande quantidade de fosfatos minerais insolúveis, porém são pobres em ortofosfato solúvel, forma absorvida pelas plantas. Os íons fosfatos se encontram fortemente adsorvidos na superfície dos colóides minerais ou precipitados em solução, por ferro e alumínio em solos ácidos e cálcio em solos alcalinos.

O uso de elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados se faz necessário para atingir boas produtividades, porém parte desses fertilizantes são convertidos para formas insolúveis se tornando indisponíveis para as plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999). Isto ocorre principalmente para os fosfatos acidulados, que possuem maior solubilidade e correspondem a mais de 90% do P_2O_5 usado na agricultura brasileira (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004). Levando-se em conta o alto custo do fertilizante e o fato de o fósforo ser um recurso finito, sem sucedâneos, torna-se indispensável à busca por melhorias na eficiência da adubação fosfatada e a obtenção de fontes alternativas de fósforo.

Os fosfatos naturais, que podem ser obtidos localmente e a custos menores que os fosfatos convencionais acidulados são uma opção interessante. Entretanto, essa fonte de fósforo apresenta baixa solubilidade havendo a necessidade de torná-lo mais rapidamente disponível para as plantas. Diversos microorganismos do solo (fungos, bactérias e actinomicetos), predominantes na rizosfera, possuem a capacidade de solubilizar fosfatos minerais insolúveis por meio de diferentes mecanismos, especialmente pela produção de ácidos orgânicos, sendo chamados de microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF).

Entre os microorganismos solubilizadores de fosfato, as *Pseudomonas* têm sido consideradas como um dos mais importantes grupos de bactérias por suas propriedades multifuncionais, pois além da solubilização de fosfatos, podem promover o desenvolvimento das plantas pela produção de hormônios e vitaminas, indução da resistência sistêmica em plantas contra agentes patogênicos e redução da população de microorganismos nocivos na rizosfera, apresentando enorme potencial para utilização como inoculantes em uma agricultura sustentável (NAIK et al., 2008).

Atualmente, o uso de bioinoculantes tem recebido maior atenção devido ao aumento da preferência pelos produtos naturais “orgânicos” e redução no uso de fertilizantes minerais convencionais e pesticidas. Porém, a inoculação em larga escala é dificultada por fatores que podem diminuir a sua eficiência, como a presença de microorganismos solubilizadores de fósforo no solo, tornando praticamente nulo o efeito da inoculação; a introdução de cepas com baixa sobrevivência na rizosfera devido à pouca competitividade com as cepas autóctones, bem adaptadas; a seleção de microorganismos com base na sua capacidade solubilizadora in vitro, em condições diferentes das encontradas na rizosfera e a incompatibilidade com defensivos usados no tratamento de sementes e em aplicações no solo. Além disso, a comercialização desses produtos ainda é um processo desafiador, já que requer embalagens adequadas e formulações estáveis que garantam a viabilidade do produto durante o transporte e armazenamento. Portanto, é de fundamental importância a avaliação desses produtos em condições de campo.

Com base no exposto, objetivou-se com o trabalho avaliar os efeitos da inoculação das bactérias *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* via semente, associadas a fontes de baixa solubilidade de fósforo, no desenvolvimento e componentes de produtividade do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fósforo no solo

2.1.1 Fósforo nos solos tropicais

Os solos das regiões tropicais, em razão do intenso processo de intemperismo a que foram submetidos durante o processo de formação, apresentam como características químicas, elevada acidez, alto teor de alumínio, baixa saturação por bases e baixa disponibilidade de nutrientes, entre eles o fósforo (NOVAIS; SMYTH, 1999). Nas regiões tropicais e subtropicais o fósforo é o elemento mais limitante da produção, sendo que 90% dos solos apresentam teores baixos (MALAVOLTA, 1980; YAMADA, 2003). Além disso, esses solos apresentam alta capacidade de reter o fósforo na fase sólida, formando compostos de baixa reatividade (SOUSA; LOBATO, 2003). Devido a essa limitação, faz-se necessário a utilização de quantidades adequadas de fertilizantes fosfatados para obtenção de altas produtividades (STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

Apesar das necessidades da planta serem menores quando comparadas ao nitrogênio e potássio, o fósforo é um dos nutrientes mais aplicados na adubação, sendo que as quantidades aplicadas superam muito as extrações pelas culturas. Esse baixo aproveitamento pelas plantas ocorre devido à fixação do fósforo pelos solos de regiões tropicais, já que o elemento apresenta afinidade com cálcio, alumínio e ferro, sendo esses solos ricos em oxihidróxidos de Fe e Al, os quais, juntamente com a caulinita formam a maior parte da composição mineralógica da fração coloidal dos solos. (RAIJ, 2004).

2.1.2 Formas e dinâmica do fósforo no solo

O fósforo é um não metal e predomina no solo na forma de ácido ortofosfórico – H_3PO_3^- comumente chamado de ácido fosfórico e seus compostos. Os minerais de fósforo encontrados na natureza são todos ortofosfatos. Além das formas inorgânicas, o solo também contém fosfatos na forma orgânica (RAIJ, 2004). O fósforo orgânico tem maior importância em solos não cultivados e sob floresta, onde a matéria orgânica está preservada (NOVAIS; SMYTH, 1999). A mineralização do P orgânico pode ser uma importante fonte de P para as plantas (GATIBONI et al., 2007). Segundo Silva et al. (2003) os solos cultivados e que receberam adubações fosfatadas apresentam menores teores de P nas frações orgânicas, sendo o P inorgânico mais importante.

O fósforo inorgânico pode ser agrupado em três frações: P na solução, P lábil e P não lábil. Na solução, entre pH 5,0 e 6,0, praticamente todo o P está nas formas absorvíveis H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} (predominando a primeira). Com a elevação do pH, as concentrações destas duas formas tendem a se igualar, e a maiores valores de pH a forma HPO_4^{2-} predomina. A utilização de fertilizantes fosfatados solúveis aumenta a concentração de P na solução, porém este tende a formar uma grande variedade de compostos de solubilidade variável com Fe, Al, Ca e outros elementos. Em solos ácidos, o fosfato reage com hidróxido de alumínio formando $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (variscita) e com hidróxido de ferro formando $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (estregita). Em condições de alcalinidade, a tendência é a formação de compostos de cálcio: fosfato dicálcico (CaHPO_4), fosfato tricálcico $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, fosfato octocálcico $[\text{Ca}_4(\text{HPO}_4)_3]$ e hidroxiapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$. Portanto, o pH exerce importante papel sobre a disponibilidade de P no solo, sendo que a faixa de pH entre 5,5 a 6,8 permite as maiores solubilidades de fosfatos de alumínio, ferro e cálcio (NOVAIS; SMYTH, 1999; RAIJ, 2004). Souza Júnior et al. (2012) avaliaram os teores das frações de fósforo inorgânico (Pi) em solos representativos do estado da Paraíba e suas correlações com características químicas desses solos e mostraram que em solos mais intemperizados, ácidos, pobres em cálcio, a maior parte do P nativo e adicionado como fertilizante forma precipitados com alumínio e ferro e em solos menos intemperizados, com pH neutro ou alcalino e com teores de cálcio maiores, o P-Ca foi a fração de Pi predominante, estando de acordo com Silva et al. (2003) que afirmaram que o P-Ca predomina em solos cultivados devido a atividade do cálcio proporcionada pela calagem.

Além das reações químicas em solução, o P reage com a superfície das partículas do solo, sendo adsorvido às argilas silicatadas do tipo 1:1 (caulinita), à

matéria orgânica do solo através de pontes de cátions e principalmente à oxihidróxidos de ferro e alumínio presentes em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados. Quanto maior a acidez, maior o teor de argila e principalmente quanto maior a presença de oxihidróxidos de Fe e Al na fração argila, mais intensa será a adsorção. No início, em função da energia de ligação entre o P e os colóides ser mais fraca, caracterizada pela formação de complexos monodentado, uma parte do P adsorvido se encontra em equilíbrio relativamente rápido com a solução do solo. Esta fração do P é chamada de P lábil e é responsável pela reposição do P absorvido pela planta na solução (RAIJ, 1991; NOVAIS; SMYTH, 1999). O maior problema da adsorção é que com o passar do tempo pode ocorrer o “envelhecimento” do P adsorvido aos oxihidróxidos de ferro e alumínio, cujas ligações tendem à especificidade, ou seja, cresce a energia de ligação com a formação de complexos bidentados. O P lábil passa para a forma não lábil, já não estando mais em equilíbrio com o P da solução, tornando o elemento não mais disponível para a planta ou dificilmente disponível. É o mecanismo que causa maiores problemas quando se aplica um fertilizante fosfatado solúvel no solo (NOVAIS, SMYTH, 1999; NOVAIS et al. 2007). Segundo Fernandez R. et al. (2008) a formação de P não-lábil a partir de formas lábeis, adsorvidas aos oxihidróxidos de Fe e Al é a maior causa para o baixo efeito residual da adubação fosfatada em solos tropicais e, apesar da goethita (oxihidróxido de Fe) ser o principal componente da fração argila responsável pela adsorção de fósforo, é a gibbsita (oxihidróxido de Al) é a maior responsável pela restrição à dessorção do fósforo.

Portanto, o P encontra-se na solução do solo em teores geralmente baixos (menor que $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$), predominantemente na forma de H_2PO_4^- , estando em equilíbrio rápido com as formas lábeis da fase sólida, através da dessorção e dissolução do fosfato lábil, repondo constantemente o fósforo absorvido da solução pelas plantas. Esse P adsorvido ligado aos colóides com baixa energia é chamado fator quantidade (Q), o P na solução de fator intensidade (I) e a reposição do P na solução de fator capacidade (C). Os solos argilosos apresentam maior capacidade de reposição de P por apresentarem maior poder de adsorção que os solos arenosos (maior Q). Quando a capacidade do solo em repor o I é insuficiente para suprir a absorção pelas plantas, adiciona-se fertilizantes fosfatados. Já o P não lábil representa a maior proporção do P inorgânico do solo e é composto pelo P sob a forma de compostos de baixa solubilidade e adsorvido às partículas do solo em ligações estáveis, não estando em equilíbrio com a solução e, portanto, não disponível para as plantas (RAIJ, 1991; NOVAIS; SMYTH, 1999).

2.1.3 Fatores que afetam a disponibilidade

Segundo Souza e Lobato (2004) a disponibilidade de fósforo é afetada por diversos fatores como espécie cultivada, dose, fonte, granulometria e forma de aplicação do fertilizante fosfatado, manejo e propriedades físico-químicas do solo (textura, tipos de minerais de argila, teor de matéria orgânica e acidez).

Os solos tropicais (mais intemperizados, oxídicos) apresentam baixa disponibilidade de fósforo principalmente devido a fixação (adsorção com alta energia de ligação), que ocorre quando formas lábeis adicionadas através de fertilizantes ou resíduos passam para formas não-lábeis, ou seja, não disponíveis para as plantas (ROLIM NETO et al., 2004). Segundo Novais e Smyth (1999) e Valladares et al. (2003) quanto maior o teor de argila no solo maior a fixação, já que devido à sua grande superfície específica, a fração argila é a porção do solo que mais contribui para o processo. Além do teor, o tipo de argila exerce grande importância na adsorção e consequente fixação de fósforo. Nos solos tropicais, onde predominam a caulinita e principalmente os óxidos de ferro (hematita, goethita) e óxidos de alumínio (gibbsita), o processo de adsorção diminui a quantidade de P na fração lábil devido à alta energia de ligação entre o ânion fosfato e os grupos funcionais da superfície mineral (NOVAIS; SMYTH, 1999, GATIBONI et al., 2005). Souza et al. (2006) trabalharam com solos com diferentes textura, mineralogia e teores de matéria orgânica e mostraram que quanto mais argiloso, mais intemperizado e com maior teor de óxidos for o solo, maior a adsorção de fosfatos e consequentemente menor a disponibilidade de fósforo.

O pH dos solos é outro fator importante na disponibilidade de fósforo para as plantas. Quando se eleva o pH, ocorre a geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nos colóides, ocorrendo a repulsão (menor adsorção) entre os fosfatos e a superfície adsorvente. Já em pH mais baixo, com predomínio de H^+ , as superfícies dos colóides ficam carregadas positivamente, aumentando o potencial eletrostático com os íons aniônicos presentes na solução, tendo como consequência maior adsorção de fosfato (NOVAIS et al., 2007). Outro efeito da elevação do pH do solo pela calagem é o aumento da concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promovendo a precipitação do Fe e Al trocáveis, reduzindo assim a precipitação do fósforo com esses dois metais. Por outro lado, a aplicação de doses elevadas de calcário aumenta o teor de cálcio trocável, podendo ocorrer a precipitação do fósforo, com a formação de fosfatos bi e

tricalcicos, de solubilidade menor que os fosfatos de alumínio. Além disso, a elevação do pH a valores muito altos faz com o P passe da forma H_2PO_4^- para HPO_4^{2-} , preferencialmente adsorvida, contrabalanceando o decréscimo do potencial eletrostático (Novais e Smyth, 1999). Sato e Comerford (2005) avaliaram os efeitos do pH sobre a adsorção e dessorção de P em um argissolo vermelho-amarelo distrófico de textura média da Bahia e mostraram que a elevação do pH de 4,7 para 5,9 e depois para 7,0 diminuiu a adsorção de P, 21 e 34% respectivamente, além de afetar positivamente a dessorção. Souza et al. (2006) em trabalho com solos com diferentes textura e mineralogia também comprovaram que a calagem proporcionou redução na adsorção de fósforo. Já Pereira e Faria (1998) em trabalho realizado com solos do semi-árido nordestino mostraram que em solos alcalinos a adsorção de fosfato foi maior que em solos levemente ácidos.

A matéria orgânica também influencia a disponibilidade de fósforo no solo, reduzindo a adsorção e precipitação de fosfatos. Isso se dá pela liberação de ácidos orgânicos, que competem pelos sítios de adsorção, diminuindo o contato fosfato-argila; pela formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis na solução do solo e pela formação de compostos com Fe e Al (ANDRADE et al., 2003). Souza et al. (2006) mostraram que a aplicação de matéria orgânica diminuiu a adsorção de fósforo em solos com diferentes texturas e mineralogia. Matos et al. (2006) afirmaram que a adubação orgânica acarretou aumento nas formas mais lábeis de fósforo, evidenciando a importância dessa prática na ciclagem do nutriente. Santos et al. (2009) avaliaram os efeitos da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade de um latossolo vermelho-distrófico e concluíram que com o acúmulo de matéria orgânica, houve aumento nos teores de fósforo, principalmente nas camadas superficiais do solo. Carneiro et al (2011) e Nunes et al. (2011) também obtiveram aumento nos teores de fósforo disponível devido ao acúmulo de matéria orgânica proporcionado pelo sistema de plantio direto. Segundo Sá (2004), isso se deve ao não revolvimento do solo no SPD, o que promove a formação de sítios de P em espaçamentos e profundidades diferentes, com efeito acumulativo ao longo do tempo. Com esses resultados, demonstra-se a importância de adotar práticas de manejo que possam incrementar a matéria orgânica no solo, e com isso aumentar a disponibilidade do fósforo.

2.2 Fontes de fósforo e manejo da adubação fosfatada

2.2.1 Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados

O fósforo é um dos nutrientes mais aplicados em programas de adubação devido à sua deficiência generalizada na maioria dos solos brasileiros. A matéria prima para a fabricação da quase totalidade dos fertilizantes são as rochas fosfáticas, recurso natural finito. (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004).

Os minerais que compõe as rochas fosfáticas são formados basicamente por dois grupos: apatitas e fosforitas. As apatitas são fosfatos de cálcio contendo OH, F e Cl e são derivadas de rochas eruptivas também denominadas de ígneas ou magmáticas, com formações no Brasil Central, Canadá, Rússia e África do Sul. Já as fosforitas são fosfatos de cálcio com substituição parcial do PO_4^{-3} por CO_3^{-2} , Mg e Na e originam-se de depósitos sedimentares no leito dos oceanos, em áreas costeiras rasas, que tornaram-se solo, com depósitos no norte da África, China, Oriente Médio e Estados Unidos, e são responsáveis por aproximadamente 85% da produção mundial de fósforo (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004; HOROWITZ; MEURER, 2004).

O teor de P_2O_5 nos depósitos pode variar de mais de 40% a menos de 5%. As rochas fosfatadas são beneficiadas para a remoção de impurezas obtendo-se assim os concentrados fosfáticos. O problema é que os concentrados fosfáticos com alto teor de P_2O_5 estão se exaurindo, aumentando os custos de produção (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004). Segundo Vitti, Wit e Fernandes (2004) as reservas mundiais de fosfato somam aproximadamente 44 bilhões de toneladas, com cerca de 25% (11 bilhões) que podem ser explorados sob condições tecnológicas de baixo custo. Se for considerada a taxa anual de mineração de 140 milhões de toneladas, as reservas de fosfato no mundo durariam 80 anos. Somando-se as reservas potencialmente exploráveis, seria suficiente para suprir o consumo mundial por 240 anos. As maiores reservas encontram-se no Marrocos, Estados Unidos e China, que são também os maiores produtores de rochas fosfáticas. No Brasil, as reservas de fosfato somam 130 milhões de toneladas e os maiores depósitos estão localizados em Patos de Minas, Tapira e Araxá (MG), Catalão e Ovidor (GO) e Jacupiranga (SP).

As rochas fosfáticas podem ou não receber tratamento industrial com ácidos para solubilizar o fósforo. Dependendo do tratamento utilizado, as principais fontes de fósforo podem ser divididas em: fosfatos naturais (rocha fosfatada moída, com eficiência agrônômica variável, dependente de fatores ligados à mineralogia), termofosfatos (rocha fosfatada + calor), fosfatos parcialmente acidulados e fosfatos totalmente acidulados, que ocupam posição de destaque no mercado, com a maior

quantidade comercializada (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004). Nos últimos anos, tem crescido a utilização de fosfatos naturais na forma farelada, principalmente pelo menor custo, sendo que estes produtos apresentam diferente reatividade no solo dependendo do material de origem. Os fosfatos naturais de origem ígnea (apatitas), que predominam no Brasil, devido ao seu alto grau de cristalização e natureza físico-química dos minerais apresentam menor solubilidade quando comparados aos de origem sedimentar (fosforitas), tendo grande influência na eficiência agrônômica da adubação (HOROWITZ; MEURER, 2004). Segundo Raij (1991) os fosfatos naturais brasileiros não devem ser utilizados em culturas anuais devido a sua baixa eficiência na liberação do fósforo. Para Prochnow, Alcarde e Chien (2004) as características químicas e mineralógicas das apatitas fazem com sejam uma opção para a fabricação de fosfatos totalmente acidulados em detrimento a sua utilização de forma direta como fosfatos naturais. Já os fosfatos de origem sedimentar, como de Arad (Israel), Gafsa (Tunísia) e Carolina do Norte (EUA) possuem alta reatividade e têm capacidade de suprir fósforo para as culturas, sendo uma fonte alternativa de custo mais baixo quando comparado aos fosfatos acidulados (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; HOROWITZ; MEURER, 2004; SOUZA; REIN; LOBATO, 2008).

Qualquer que seja a fonte há a necessidade de pesquisa visando uma maior eficiência na utilização do fósforo pelas plantas, com o objetivo de aumentar a vida útil das reservas de rochas fosfáticas (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004).

2.2.2 Principais fertilizantes fosfatados

Os fertilizantes fosfatados, de uma forma geral, apresentam baixa eficiência de utilização pelas plantas, sendo necessária a aplicação de altas doses, elevando com isso os custos de produção. A escolha da fonte correta de fósforo e a forma de aplicação podem aumentar a eficiência da adubação (CORRÊA et al., 2005). Dentre os macronutrientes primários, o fósforo é o que apresenta maior diversidade de fontes no mercado, as quais podem variar de acordo com a solubilidade, afetando diretamente a sua eficiência agrônômica (capacidade de fornecimento de P para a planta) (SOUZA; LOBATO, 2004; NOVAIS et al., 2007). Segundo Alcarde e Prochnow (2004), os fertilizantes fosfatados podem ser classificados de acordo com a sua solubilidade em água, em citrato neutro de amônio (CNA) e em ácido cítrico (AC), em análises de acordo com a legislação brasileira.

Os fosfatos totalmente acidulados apresentam mais de 90% do P total solúvel em água e em CNA + água, estando disponível para a planta, favorecendo a sua absorção e utilização. São os mais usados na agricultura mundial e correspondem a mais de 90% do P_2O_5 utilizado na agricultura brasileira. Possuem alta eficiência agronômica em curto prazo e alto custo por unidade (SOUZA; LOBATO, 2004; PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004; NOVAIS et al., 2007). No entanto, quando adicionados em solos tropicais ácidos, com alto teor de argila, essa rápida solubilização pode favorecer a adsorção e precipitação do P, tornando-o indisponível para a planta (NOVAIS; SMYTH, 1999). A granulação do produto e a aplicação de forma localizada diminuem o volume de solo com o qual reagem, minimizando assim as perdas (SOUZA; LOBATO, 2004).

Os principais fosfatos totalmente acidulados pertencem ao grupo dos superfosfatos (superfosfato simples e superfosfato triplo) e os fosfatos de amônio (monoaminofosfato e diaminofosfato). Além desses produtos tradicionais, há outras opções de fosfatos totalmente acidulados como ortofosfatos de potássio, polifosfatos de amônio, nitrofosfatos e polifosfatos de amônio-uréia. Pode estar presente também em misturas complexas (N, P e K no mesmo grânulo). O superfosfato simples é um produto obtido pela solubilização da rocha fosfatada moída com ácido sulfúrico, contendo aproximadamente 18% de P_2O_5 solúvel em água + CNA, 12% de S e 20% de Ca. Já o superfosfato triplo é obtido pela solubilização da rocha fosfatada moída com ácido fosfórico, contendo aproximadamente 41% de P_2O_5 solúvel em água + CNA e 10% de Ca. Os fosfatos de amônio são obtidos pela reação do ácido fosfórico com amônia. O MAP (monoaminofosfato) é um produto contendo aproximadamente 48% de P_2O_5 solúvel em água + CNA e 10% de N, enquanto o DAP (diaminofosfato) contém aproximadamente 45% de P_2O_5 solúvel em água + CNA e 17% de N (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004).

Uma alternativa às fontes solúveis são os fosfatos naturais, de menor reatividade, porém capazes de suprir as necessidades da planta a um menor custo por unidade de P_2O_5 , além de apresentar efeito residual durante anos subseqüentes à sua aplicação (HOROWITZ; MEURER, 2004). São produtos que apresentam o fósforo insolúvel em água, porém solúvel em solução de ácido cítrico a 2%, podendo ser aproveitado pela planta a longo prazo (ALCARDE; PROCHNOW, 2004). Segundo Novais e Smyth (1999), os fertilizantes de menor reatividade ao disponibilizarem mais lentamente

o P, minimizariam os processos de fixação e poderiam promover maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas, desde que a menor reatividade não restrinja o processo de difusão, que garante o fornecimento de P para a planta. Prochnow et al. (2006) avaliaram a eficiência agrônômica de fontes de fósforo com solubilidade variável em solos com diferentes capacidades de adsorção e mostraram que fontes de fósforo de baixa solubilidade em água pode ser agronomicamente mais eficientes em solos com alta capacidade de adsorção de fósforo.

Os fosfatos naturais são obtidos a partir de minérios fosfáticos que ocorrem em jazidas e que geralmente passam por processos de flotação ou de lavagem para eliminação parcial das impurezas (HOROWITZ; MEURER, 2004). Segundo Prochnow, Alcarde e Chien (2004), as características químicas e mineralógicas desses minérios vão influenciar na opção de seu uso como fosfato natural ou para a fabricação de fosfatos acidulados. Os fosfatos naturais brasileiros, obtidos a partir das apatitas, apresentam solubilidade muito baixa, principalmente em solos com acidez corrigida (pH em H₂O em torno de 6,0), tendo eficiência agrônômica muito baixa, principalmente em culturas anuais. Os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade (FNR) como Carolina do Norte, Gafsa, Arad apresentam boa eficiência quando aplicados a lanço e incorporados em solos com pH em H₂O menor que 6,0, sendo similares aos fosfatos solúveis em água já no ano de aplicação (SOUZA; LOBATO, 2004). Além disso, apresentam efeito residual maior no solo quando comparado aos superfosfatos (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; SOUZA et al., 2008).

A eficiência dos fosfatos naturais depende principalmente da origem, granulometria, características físico-químicas do solo, espécie vegetal e forma de aplicação. Os fosfatos sedimentares reativos, como o de Gafsa, apresentam maior solubilidade comparado aos fosfatos naturais de origem ígnea ou metamórfica (CORRÊA et al., 2005). Como apresentam baixa solubilidade em água, quanto menor a partícula (mais finamente moído), maior será a superfície de contato com o solo e conseqüentemente maior a liberação de P. Em solos ácidos e com teores baixos de P, a sua eficiência é maior, já que os íons H⁺ ajudam na solubilização e os baixos teores de P associados a altos teores de argila (maior adsorção) funcionam como dreno, favorecendo a dissolução dos fosfatos (HOROWITZ; MEURER, 2004). Quanto à forma de aplicação, o fosfato natural deve ser aplicado em área total e incorporado ao solo, já que a dissolução do fosfato natural

depende do contato com o solo (SOUZA; LOBATO, 2004; HOROWITZ; MEURER, 2004).

Os termofosfatos são fertilizantes obtidos pelo tratamento térmico de rochas fosfatadas com o objetivo de tornar o fósforo disponível para as plantas. No caso do termofosfato magnesiano é necessária a adição de componentes magnesianos e sílicos. São produtos que apresentam alto teor de P solúvel em ácido cítrico a 2% e quando aplicado na forma finamente moída, dissolve-se rapidamente no solo, apresentando eficiência agrônômica equivalente aos fosfatos solúveis em água, efeito neutralizante da acidez, presença de magnésio, além da ação do silicato diminuindo a fixação de fósforo. Outras fontes de fósforo são o multifosfato magnesiano, obtido pela reação da rocha fosfatada moída com ácido sulfúrico e óxido de magnésio e os organofosfatados (farinha de ossos, farinha de ossos autoclavado e fosfato natural + matéria orgânica inoculada com microorganismos solubilizadores de fosfato) (VITTI; WIT; FERNANDES, 2004).

Corrêa et al. (2005) avaliaram a eficiência de métodos de aplicação de fosfato de Gafsa e superfosfato triplo em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo (Argissolo e Latossolo) e mostraram que o fosfato de Gafsa foi tão eficiente quanto o superfosfato triplo apenas quando incorporado no Argissolo (menor CMAP). Para o Latossolo isto não aconteceu devido à diminuição da solubilização do fosfato natural, provavelmente devido ao maior teor de cálcio no solo. Já Ramos et al. (2009) comparando os efeitos da aplicação de superfosfato triplo (TSP) e fosfato natural reativo de Arad (ARP) sobre a produção de biomassa e a utilização de fósforo por gramíneas forrageiras em dois tipos de solo (Cambissolo e Latossolo) mostraram que a fonte com maior solubilidade (TSP) proporcionou maior produção de matéria seca e maior acúmulo total de P em ambos os solos. O fosfato reativo de Arad apresentou maior eficiência no Latossolo, indicando melhores condições para solubilização nesse tipo de solo.

Korndörfer, Lara-Cabezas e Horowitz (1999) avaliaram o comportamento agrônômico de fosfatos importados (Arad, Gafsa e Marrocos) quanto à produção de milho, comparando com o superfosfato triplo, em um Latossolo vermelho-amarelo de textura média, com aplicação a lanço e concluíram que a capacidade dos fosfatos naturais Arad, Marrocos e Gafsa em fornecer fósforo para o milho foi de 60, 80 e 97% respectivamente, quando comparados com o superfosfato triplo. Lima, Fidelis e Costa (2007) avaliaram a resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a fontes de fósforo (Superfosfato triplo, hiperfosfato natural de Gafsa e fosfato natural reativo Fospasto) para a

produção de matéria seca em um Latossolo vermelho-amarelo distrófico e concluíram que o superfosfato triplo (fonte mais solúvel) proporcionou maior produção de matéria seca, não havendo diferença entre as fontes menos solúveis.

Motomiya et al (2004) estudaram o efeito de métodos de aplicação (no sulco e a lanço) e fontes de adubo fosfatado (superfosfato triplo e fosfato natural de Gafsa) sobre a produção de grãos de soja em um Latossolo vermelho distroféricoargiloarenoso sob condição de plantio direto e mostraram que a eficiência do fosfato natural de Gafsa é equivalente ao superfosfato triplo quando aplicado à lanço, no entanto mostra-se ineficiente quando aplicado no sulco de semeadura. Já Santos et al. (2012) realizaram trabalho semelhante com algodão em solo com textura média no cerrado da Bahia e não encontraram diferenças significativas entre os métodos de aplicação e fonte utilizada sobre a produtividade do algodão.

Frandoloso et al. (2009) compararam a eficiência do fosfato natural reativo e do superfosfato triplo, associado ao enxofre elementar aplicados no sulco de plantio na cultura do milho e mostraram que o superfosfato triplo proporciona maiores teores de P no tecido foliar e maior rendimento de grãos e que a adição de enxofre aumenta a eficiência agrônômica do fosfato natural reativo. Franzini et al. (2009) também avaliaram os efeitos da aplicação de superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo de Gafsa (FNR) no aproveitamento do fósforo por plantas de milho e soja e concluíram que a aplicação localizada do superfosfato triplo aumenta a eficiência dessa fonte, assim como a aplicação de modo não localizado no solo aumenta a eficiência do fosfato natural reativo no fornecimento de fósforo para as plantas. A mistura das duas fontes aumenta o aproveitamento do fósforo do fosfato natural reativo pelas plantas, sendo que esse efeito depende do método de aplicação. As duas fontes no mesmo grânulo promovem o aumento na solubilização do P presente no FNR devido à acidez gerada pela hidrólise do fosfato presente no SFT. Já a aplicação do SFT no sulco de plantio promove o desenvolvimento do sistema radicular, melhorando a absorção do FNR aplicado a lanço. Oliveira Júnior, Prochnow e Klepker (2011) avaliaram em um Latossolo vermelho distrófico, de textura argilosa e baixo teor de fósforo disponível, a resposta da soja, por três safras consecutivas, à aplicação associada de fosfato natural de Arad e superfosfato triplo em diferentes proporções e métodos e concluíram que a mistura de fontes de diferentes solubilidades pode ser uma opção viável para o manejo do fósforo na adubação da soja.

Bedin et al. (2003) avaliaram o desempenho da soja submetida a aplicação de diversos adubos fosfatados em solos com diferentes capacidades de fósforo e mostraram que o fosfato natural de Araxá, apesar de aumentar a produção de fitomassa desta leguminosa, apresentou resultados muito inferiores aos observados para a soja submetida a outros fertilizantes fosfatados mais reativos como superfosfato triplo, termofosfato magnésiano, e essa diferença foi maior em solos com menor capacidade de fósforo. Já Foloni et al (2008) não obtiveram incremento na produção de biomassa da soja com aplicação do fosfato natural fosforita Alvorada, porém obtiveram resposta positiva para o milho. Moreira, Malavolta e Morais (2002), em trabalho realizado em casa de vegetação com um Latossolo Amarelo distrófico, mostraram que o termofosfato Yoorin apresenta maior eficiência agrônômica quando comparado com fosfatos naturais reativos.

2.2.3 Manejo da adubação fosfatada

A aplicação de maneira adequada é uma das formas de aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, sendo que a escolha dessa prática dependerá do solo, da fonte de fósforo, da espécie a ser cultivada, do sistema de preparo e do clima. As formas mais utilizadas para adicionar fósforo ao solo são a lanço na superfície, com ou sem incorporação, no sulco de plantio, em cova e em faixas (SOUZA; LOBATO, 2004).

Os fosfatos mais solúveis, como o superfosfato simples, superfosfato triplo e os fosfatos de amônio são mais indicados para suprir fósforo às culturas anuais, já que apresentam efeito mais rápido e podem ser utilizados em aplicações a lanço, em faixas e no sulco de semeadura. Em solos pobres e para doses baixas e médias de fósforo, a aplicação de forma localizada no sulco de plantio reduz o contato com o solo, promovendo maior eficiência da adubação (Anghinoni, 2004). Para aplicações de doses elevadas de fósforo, a aplicação a lanço com incorporação poderá levar a formação de um sistema radicular mais volumoso, aumentando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (SOUZA; LOBATO, 2004). Prado e Fernandes (2001) obtiveram menor produção de milho com a aplicação de superfosfato triplo a lanço em comparação com a aplicação no sulco em um Latossolo vermelho-escuro de textura argilosa e afirmaram que isso ocorreu devido à elevada capacidade de fixação de fósforo em solos oxidícos, sendo que nestes solos, seriam necessárias doses maiores para atingir maior produção. Barreto e Fernandes (2002) obtiveram resultados diferentes em um Argissolo, sendo que neste caso a

adubação a lanço proporcionou maior produção devido ao aumento da capacidade de absorção de nutrientes pela formação de um sistema radicular mais volumoso. Já Resende et al. (2006) em trabalho também realizado em Argissolo não obtiveram diferença significativa na produção de milho com a aplicação de superfosfato triplo a lanço e no sulco, porém, para fosfatos naturais reativos a aplicação a lanço proporcionou melhores resultados.

A aplicação de doses mais elevadas visando à correção de P no solo recebe o nome de fosfatagem (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004). Segundo Coelho e Alves (2004) a fosfatagem pode ser feita de duas maneiras: na primeira aplica-se de uma só vez a quantidade de P necessária para atingir certo padrão de disponibilidade desse nutriente e na segunda são aplicadas doses menores, anualmente, para que o excedente vá se acumulando e depois de algum tempo atinja a disponibilidade de fósforo desejada no solo. Para Prochnow, Alcarde e Chien (2004) e Souza e Lobato (2004) a combinação da aplicação inicial a lanço com incorporação e adições anuais no sulco de semeadura tem proporcionado bons resultados. Segundo Zancanaro (2004) esta tem sido a forma mais recomendada e utilizada pelos agricultores no plantio de algodão no Estado do Mato Grosso. Em áreas onde foi adotado o sistema de plantio direto (SPD), a aplicação em faixas ou mesmo em área total favorece o aumento da disponibilidade de fósforo, já que diminui a adsorção, principalmente na camada mais superficial do solo devido ao não revolvimento, o que promove a formação de sítios de P com o aumento de frações orgânicas lábeis (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003; SÁ, 2004).

Os fosfatos naturais reativos são uma opção interessante para o uso em solos deficientes de fósforo em adubação de correção (fosfatagem), aplicados a lanço e incorporados. Apresentam menor custo e para culturas perenes ou de ciclo mais longo como a cana-de-açúcar, a sua eficiência é similar aos fosfatos acidulados. Entre os fatores que afetam a sua eficiência, o modo de aplicação é um dos mais importantes, já que a dissolução do fosfato natural é dependente da superfície de contato com o solo, portanto, a aplicação a lanço com incorporação aumenta a taxa de dissolução (HOROWITZ; MEURER, 2004).

2.2.4 Adubação fosfatada na cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo devido ao seu potencial produtivo e seu valor nutritivo, podendo ser usado tanto na alimentação humana como animal (FANCELLI, 2011). A área estimada pela CONAB (2014) para o plantio de milho no Brasil é de aproximadamente 6,7 milhões de hectares para a primeira safra e 9,0 milhões de hectares na safrinha, concentrando-se principalmente nos estados do Centro-Oeste, Sul e Sudeste, sendo o Mato Grosso o estado com maior produção, seguido por Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, expandindo-se também pelos estados da Bahia, Maranhão e Piauí (CONAB, 2014). Segundo Vitti et al. (2011) a produtividade média do Brasil ($4,4 \text{ t ha}^{-1}$) está muito abaixo do potencial produtivo atingido por bons produtores, por volta de 10 a 12 t ha^{-1} , sendo que um dos principais fatores que contribui para isso é o uso inadequado de fertilizantes e corretivos.

Embora a exigência do milho em relação ao fósforo seja menor do que nitrogênio e potássio, as doses recomendadas são altas em função da baixa eficiência (20 a 30%) de aproveitamento pela planta devido à alta capacidade de adsorção do fósforo adicionado ao solo, reduzindo sua disponibilidade. Além disso, plantas de desenvolvimento intenso e de ciclo curto como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução (COELHO; FRANÇA, 1995). Segundo Grant et al. (2001) a deficiência de fósforo reduz a emissão e o crescimento de folhas. Com isso, há menor captação da radiação solar e conseqüentemente menor acúmulo de carboidratos, afetando a emergência de raízes e reduzindo a capacidade de absorção de fósforo pela planta. Um bom suprimento de fósforo na fase inicial tem efeito no tamanho da espiga. A deficiência durante a formação da espiga, que ocorre entre os estádios V6 e V7 pode diminuir o tamanho da espiga, levando a um número menor de grãos por espiga.

2.3 Solubilização microbiana de fosfatos

2.3.1 Aspectos gerais

O ciclo do P é um sistema complexo, governado por reações e transformações estritamente químicas ou mediadas pelos organismos do solo e pelas plantas, garantindo os fluxos e a ciclagem do P nos ecossistemas. Os microorganismos têm participação intensa nas transformações do P no solo, influenciando sua disponibilidade

para as plantas através da mineralização de compostos orgânicos, imobilização na microbiomassa e solubilização de formas inorgânicas (SIQUEIRA; ANDRADE; FAQUIN, 2004), além da produção de fitormônios, que induzem o aumento no volume do sistema radicular, favorecendo a absorção de fósforo (HARVEY; WARREN; WAKELIN, 2009).

Em comparação com os outros nutrientes, o fósforo é de longe o menos disponível para as plantas na maioria das condições do solo. Embora o fósforo seja abundante nos solos nas formas orgânicas e inorgânicas é, freqüentemente, o principal fator limitante para o crescimento das plantas (KHAN; ZAIDI; WANI, 2007). Segundo Goldstein e Krishnaraj (2007), os solos são ricos em fosfatos minerais insolúveis, mas deficientes no ortofosfato solúvel, forma absorvida pelas plantas e microorganismos. Essa situação é mais frequente nas regiões tropicais, onde os íons fosfatos são adsorvidos na superfície dos colóides minerais ou precipitados por ferro e alumínio em solos ácidos e cálcio em solos alcalinos (AFZAL; BANO; FATIMA, 2010; OSÓRIO, 2011).

O uso de fertilizantes fosfatados minerais é, obviamente, o melhor meio para contornar a deficiência P, mas a sua utilização é sempre limitada devido ao seu alto custo (ZAIDI et al., 2009). A utilização de fosfatos naturais disponíveis localmente pode ser uma alternativa, já que são mais baratos do que os fertilizantes fosfatados solúveis, apresentando como desvantagem limitada eficiência agrônômica devido a sua baixa solubilidade. Porém, existem processos naturais que podem tornar o fósforo disponível, entre os quais a solubilização microbiana de fosfatos minerais insolúveis já existentes ou adicionados no solo como fosfatos de rocha (BARROSO; OLIVEIRA, 2001; OSÓRIO, 2011). Segundo Marschner, Crowley, Rengel (2011) microorganismos e plantas desenvolveram mecanismos para adquirir fósforo através da acidificação da rizosfera pela liberação de prótons e ácidos orgânicos que promovem a quelatização dos cátions (Al, Fe, Ca), liberando fosfato solúvel.

A utilização desses microorganismos pode desempenhar um papel importante no fornecimento de fosfato para as plantas de uma forma mais ecológica e sustentável (ZAID et al., 2009). Segundo Khan, Zaidi e Wani (2007), a solubilização dos compostos fosfatados por microorganismos solubilizadores de fosfato é muito comum em condições in vitro, porém em condições de campo o desempenho dos microorganismos é contraditório, prejudicando a utilização em larga escala na agricultura sustentável. Apesar das variações no seu desempenho, os microorganismos solubilizadores de fosfato são amplamente aplicados em práticas agrônômicas a fim de aumentar a produtividade das

culturas. De acordo com Khan et al. (2013) inúmeros trabalhos de pesquisa vêm sendo feitos com o objetivo de identificar e isolar microorganismos solubilizadores de fosfato visando melhoria na utilização do fósforo e conseqüentemente na produtividade, principalmente de cereais e leguminosas cultivados em diferentes regiões do planeta.

2.3.2 Microorganismos solubilizadores de fosfato

Uma grande diversidade de bactérias que habitam a rizosfera são capazes de exercer um efeito benéfico no crescimento da planta. Este grupo de bactérias tem sido denominado rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR) e entre eles estão os gêneros *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Serratia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacte*, *Acinetobacter* e *Flavobacterium*, que podem melhorar o desenvolvimento das plantas pela produção de fitormônios, indução da resistência sistêmica em plantas contra agentes patogênicos foliares e de raízes, redução da população de agentes patogênicos da raiz e outros microorganismos nocivos na rizosfera, fixação biológica de nitrogênio e solubilização de fosfatos inorgânicos (RODRÍGUEZ et al., 2006; BHATTACHARYYA; JHA, 2012). Segundo Rodriguez e Fraga (1999) os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* são considerados os mais eficientes solubilizadores de fosfatos inorgânicos. Além das bactérias, alguns fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* também possuem alta capacidade solubilizadora (KHAN et al., 2013).

Esses microorganismos são isolados da rizosfera e a sua capacidade solubilizadora está associada à acidificação do meio (principalmente quando são avaliados em fosfato de cálcio) e liberação de ânions orgânicos como citrato, gluconato, oxalato e succinato (KHAN; ZAIDI; WANI, 2007). Segundo Nahas (2007) são heterotróficos e dependem de carbono e fontes de energia. A capacidade de solubilização de fosfato varia conforme o potencial do microorganismo, a fonte de carbono e de fósforo e as condições do meio. A grande maioria dos trabalhos utiliza fosfato de cálcio, havendo poucas informações sobre a solubilização de fosfatos de ferro e alumínio, que são as formas que predominam nos solos tropicais. Esse procedimento leva a seleção de microorganismos solubilizadores de fosfato de cálcio em detrimento à solubilização de outros fosfatos (SILVA FILHO; VIDOR, 2000). Porém, trabalhos de Hara e Oliveira (2004) e Chagas Junior et al. (2010) com rizobios isolados de solos ácidos da Amazônia mostraram que

mais de 60% dos isolados que solubilizaram fosfato de cálcio também solubilizaram fosfato de alumínio. Toro (2007) em trabalho realizado na rizosfera de uma gramínea nativa das savanas mostrou que em solos ácidos predominam microorganismos solubilizadores de fosfatos de alumínio e ferro e em solos calcários, os solubilizadores de fosfato de cálcio.

Para isolar um potencial microorganismo solubilizador de fosfato, o meio de cultura não pode ter fontes de P solúveis, apenas P insolúvel. Teoricamente, isso vai assegurar que o microorganismo que crescer nesse meio tem capacidade solubilizadora de fosfato. Tal meio de crescimento foi inicialmente proposto em 1948 por Pikovskaya, contendo como fator de seleção único o fosfato tricálcico – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ que embora potencialmente insolúvel não é difícil de dissolver. Com isso, numerosos microorganismos solubilizadores de fosfato são isolados por apresentarem sucesso in vitro, mas não repetem seu desempenho em condições de campo (BASÃ; KAMNEV; de BASHAN, 2013).

Naik et al. (2008) descreveram bem o processo de isolamento, seleção, caracterização, produção de hormônios e enzimas e ensaios de antagonismo de estirpes de *Pseudomonas fluorescens* isoladas de solos rizosféricos de campos agrícolas na Índia: 10g de solo rizosférico foi misturado com 90mL de $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 0,1 M e agitado durante 10 minutos. A suspensão foi diluída e colocada em meio de cultura. Após a incubação a 28°C por 2 dias, as colônias de *Pseudomonas fluorescens* foram identificadas sob luz UV (366nm) e após purificação sementeadas para obtenção de culturas puras. Para detectar a capacidade de solubilização de fosfatos, as estirpes foram sementeadas em meio de cultura Pikovskaya que contém por litro: 0,5g de extrato de levedura, 10g de dextrose, 5g de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,5g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,2g de KCl, 0,1g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, 0,0001g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,0001g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ e 15g de Agar. Após 3 dias de incubação a 28°C, as estirpes que produziam halo claro ao redor das colônias foram consideradas positivas. Determinou-se o fosfato solúvel e variações de pH no meio durante o crescimento de cada estirpe. Após a caracterização fenotípica e genotípica, as estirpes foram testadas para a produção de enzimas (celulase, pectinase), hormônios de crescimento, sideróforos, enzimas que degradam a parede celular de fungos, além de ensaios de antagonismo contra microorganismos causadores de doenças.

Oliveira et al. (2009) isolaram microorganismos solubilizadores de fosfato da rizosfera de milho cultivado em Latossolo vermelho no cerrado brasileiro e selecionaram com base na eficiência de solubilização de fosfato orgânico e inorgânico

usando para isso o meio de cultura Pikovskaya modificado, contendo fitato de sódio, lecitina de soja e fosfato de alumínio e mostraram que os fungos foram mais eficientes na solubilização de fosfato de alumínio e bactérias em fosfato de cálcio sendo a solubilização de fosfato de alumínio menor que a do fosfato de cálcio, estando de acordo com Barroso e Nahas (2005) que afirmaram que o fosfato de cálcio apresenta maior solubilidade que o fosfato de alumínio e este que o fosfato de ferro.

Gomes et al. (2010) avaliaram o potencial de bactérias e fungos de solos rizosféricos de milho para solubilização de fosfato de ferro em meio de cultura e mostraram que os fungos estudados foram mais eficientes que as bactérias na solubilização do fosfato de ferro devido a sua maior adaptação a acidez do meio, estando de acordo com Barroso e Nahas (2008) que avaliando a eficiência de solubilização de fosfato de ferro pelo fungo *Aspergillus niger* mostraram que a produção de ácidos foi o principal mecanismo de solubilização.

Souchie et al. (2005) avaliaram a capacidade de solubilização de fosfato de cálcio, fosfato de alumínio e apatita de Araxá por fungos (*Aspergillus*) e bactérias (*Enterobacteriaceae*) e mostraram que os fungos apresentam maior capacidade para solubilizar fosfato de alumínio e que altas concentrações de Al^{+3} em solução prejudica o desenvolvimento de bactérias. As bactérias demonstraram maior capacidade de solubilizar apatita de Araxá do que fosfato de alumínio, porém em menor escala que os fungos. Silva Filho e Vidor (2001) mostraram que fungos e bactérias foram mais eficientes na solubilização de fosfato de cálcio do que fosfatos de alumínio e ferro e que a fonte de nitrogênio afetou a capacidade e o potencial de solubilização, tendo um efeito positivo quando foi utilizada uma fonte amoniacal.

Silva Filho, Narloch e Scharf (2002) mostraram que fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* apresentaram maior capacidade para solubilização de fosfatos naturais do que as bactérias, o que foi confirmado por Souchie e Abboud (2007), que mostraram que fungos são mais eficientes na solubilização do fosfato de Araxá devido principalmente ao seu maior desenvolvimento e maior capacidade para acidificar o meio.

Apesar dos fungos serem potencialmente mais promissores que as bactérias para solubilização de fosfato em condições de laboratório (in vitro), as pesquisas dão mais ênfase às bactérias (BARROTI; NAHAS, 2000). Segundo Puente et al. (2004) as bactérias são mais eficientes que os fungos para se estabelecer na rizosfera e suportar condições adversas.

Um meio alternativo de melhorar a eficiência na utilização de fósforo pela planta é a co-inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares. Enquanto as bactérias podem aumentar a dissolução do fosfato através da liberação de ácidos orgânicos, os fungos formam associações simbióticas com as raízes das plantas aumentando a eficiência na absorção de fósforo na solução do solo (KHAN et al., 2009; OSÓRIO, 2011).

2.3.3 Mecanismos de solubilização

Segundo Kuhad et al. (2011), o principal mecanismo envolvido na solubilização do fosfato é a produção de ácidos orgânicos, principalmente ácido glucônico, ácido 2-ketoglucônico, ácido cítrico e ácido oxálico que podem atuar como agentes quelantes dos cátions ligados ao fosfato através de seus grupos hidroxílico e carboxílico ou acidificar o meio pela liberação de H^+ . Os ácidos orgânicos geralmente produzidos pelos microorganismos são o glucônico, cítrico e oxálico (RICHARDSON, 2001; WALPOLA; YOON, 2013), enquanto a maioria das plantas produz ácido cítrico, oxálico e málico (ZHENG et al., 2005). Para Nahas (1991), além dos mecanismos citados, a liberação de prótons (H^+) resultante da assimilação de NH_4^+ durante o crescimento microbiano, a produção de ácido carbônico na respiração e a produção de ácidos inorgânicos oriundos do metabolismo de microorganismos quimiolitotróficos também são mecanismos que estão relacionadas com a solubilização microbiana de fosfatos.

Alam et al. (2002) avaliaram dez bactérias e três fungos isolados da rizosfera de milho quanto a capacidade de solubilização de fosfato e mostraram que as bactérias foram mais eficientes que os fungos na solubilização do fosfato e que a produção de ácidos orgânicos (cítrico e oxálico) correlacionou positivamente com a solubilização de fosfato, porém não sendo o único mecanismo responsável pelo abaixamento do pH, estando de acordo com Illmer e Schinner (1995) que estudando os mecanismo de solubilização de fosfato para o fungo *Penicillium aurantiogriseum* e a bactéria *Pseudomonas sp.* mostraram que a liberação de prótons na respiração e na assimilação do NH_4^+ também foi importante na solubilização de fosfatos.

Di Simini, Sayer e Gadd (1998) testaram a capacidade de uma estirpe de *Pseudomonas fluorescens* de solubilizar fosfato de zinco e mostraram que colônias do microorganismo produziram halos claros em meio sólido incorporando o fosfato

de zinco, mas apenas quando a glucose foi fornecido como a fonte de carbono. A solubilização de fosfato de zinco ocorreu tanto por um aumento na concentração de H^+ do meio, provavelmente uma consequência da assimilação de amônia como pela produção de ácido glucônico em altas concentrações. Embora em algumas circunstâncias o ácido glucônico seja supostamente capaz de solubilizar metais pela formação de quelatos, não houve quelação de zinco na experiência, já que ocorreu o aumento da concentração de Zn^{+2} causada pelo processo de solubilização resultando em efeitos tóxicos na cultura.

Lin et al (2006) utilizaram a bactéria *Burkholderia cepacia* CC-AI74 para estudar o mecanismo de solubilização de fósforo e demonstraram que a solubilização foi causada principalmente pela liberação de ácido glucônico. Vyas e Gulati (2009) mostraram que cada estirpe de *Pseudomonas* tem a sua própria capacidade de produzir ácidos orgânicos, influenciando na solubilização do fosfato e conseqüentemente no crescimento das plantas, sendo essa característica importante para selecionar linhagens para a aplicação específica como bioinoculantes. O ácido glucônico foi o principal ácido orgânico produzido, principalmente na presença de fosfatos tricálcicos, mostrando resultados promissores para a aplicação em solos ricos em Ca. Pequenas quantidades de ácidos oxálico, málico, láctico, succínico, fórmico e cítrico foram relatados durante a solubilização de fosfato.

Marra et al. (2012) isolando bactérias fixadoras de nitrogênio no feijão-caupi cultivado em solos tropicais visando selecionar aquelas eficientes também na solubilização de fosfatos inorgânicos insolúveis mostraram que as bactérias que se destacaram na solubilização de fosfatos foram as que mais produziram ácidos orgânicos (oxálico, cítrico, glucônico, láctico, succínico e propiônico) e que a quantidade e a proporção desses ácidos influenciavam na solubilização. Farhat et al. (2009) utilizando uma estirpe da bactéria *Serratia marcescens* na solubilização de fosfato de cálcio, tricálcico e hidroxapatita e utilizando glicose como fonte única de carbono mostraram que a solubilização de fosfato ocorreu simultaneamente com a queda significativa do pH do meio e a análise do meio de cultura mostrou a produção de ácido glucônico resultante da oxidação direta da glicose. Alikhani, Saleh-Rastin e Antoun (2006) e Wang et al. (2012) mostraram que adição de fontes de carbono e nitrogênio aumentaram a solubilização de fosfatos.

O comportamento dos microorganismos na solubilização de fosfatos pode ser determinado pelas condições do meio, principalmente em relação às

fontes de nitrogênio e carbono (BARROSO et al., 2006). Segundo Silva Filho e Vidor (2000) a atividade solubilizadora depende das fontes carbonadas no meio de cultura, destacando-se as formas mais simples de açúcares, especialmente a glicose, estando de acordo com Minhoni et al. (1991) que comparando fontes de carbono afirmaram que a glicose foi a fonte que melhor favoreceu a solubilização de fosfatos. Além do carbono, a fonte de nitrogênio fornecida pode ter grande influência na redução do pH, já que íons H^+ são liberados a partir das raízes durante a assimilação de amônio (NH_4^+) (ARCAND; SCHNEIDER, 2006). Silva filho e Vidor (2001) avaliando a capacidade solubilizadora de fosfatos de microorganismos mostraram que a solubilização aumentou com a absorção de fontes amoniacais e diminuiu com as nítricas, o que foi comprovado por Sagervanshi et al. (2012) e Selvi e Ravindran (2012). Villegas e Fortin (2001) estudando a interação entre bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos mostraram que a solubilização aumentou na presença de NH_4^+ devido ao abaixamento do pH no meio de cultura.

2.3.4 Solubilização microbiana de fosfatos: testes de campo

Segundo Basã, Kamnev, de-Bashan (2013), somente a eficiência na solubilização de fosfatos *in vitro* não é suficiente para que uma bactéria seja considerada promotora de crescimento. Outros testes devem ser feitos para avaliar o potencial do microorganismo para sua utilização como inoculante, que é o objetivo final dos ensaios.

Apesar de ocorrerem naturalmente no solo, a população de bactérias solubilizadoras de fosfato não é alta para competir com outras bactérias estabelecidas na rizosfera, de tal maneira que a quantidade de fósforo liberado por elas não é suficiente para garantir um aumento significativo no crescimento das plantas. Por isso, é necessária a inoculação para elevar a população desses microorganismos solubilizadores a uma concentração mais elevada do que a encontrada normalmente no solo, com o objetivo de aumentar a solubilização de fosfatos, garantindo um maior desenvolvimento da planta (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999; MAGIROI et al., 2012). Segundo Richardson e Simpson (2011) as interações entre microorganismos e plantas em condições de campo são bastante complexas e salvo algumas exceções (rizóbios e em menor escala fungos micorrízicos) têm se mostrado difícil de compreender, tendo como consequência respostas altamente variáveis à inoculação.

Kucey (1987) inoculou um solo calcário com o fungo *Penicillium bilaji* juntamente com fosfato de rocha, em ensaios de casa de vegetação e campo, e mostrou que a absorção de fósforo e a produção de matéria seca pelo trigo e pelo feijão foi equivalente a obtida com a utilização de uma fonte solúvel (superfosfato triplo e fosfato monoamônico). Quando foi adicionado somente fosfato de rocha, este não teve nenhum efeito sobre o crescimento do trigo ou absorção de fósforo, mostrando que microorganismos solubilizadores podem ser usados para aumentar a disponibilidade de fósforo de rochas fosfatadas. Wakelin et al. (2007) trabalhando com o mesmo fungo em solos neutros e alcalinos da Austrália mostraram que a inoculação das sementes de trigo e lentilha proporcionou significativo crescimento da parte aérea e produção de matéria seca, com maior absorção de fósforo. Já Nahas, Fornasieri e Assis (1994) não obtiveram efeito com a inoculação do fungo solubilizador *Aspergillus niger* na dissolução da fluorapatita, em comparação com a aplicação de fosfato solúvel na cultura do milho, possivelmente devido à competição com os microorganismos naturais do solo.

Shankaraiah, Hunsigi e Nagaraju (2000) estudaram o efeito da inoculação do solo com as bactérias solubilizadoras de fosfato *Agrobacterium radiobacter* e *Bacillus megaterium* e o fungo *Aspergillus awamori* com diferentes níveis e fontes de fósforo sobre o crescimento, produção e qualidade da cana-de-açúcar e mostraram que a inoculação melhorou a eficiência na utilização dos nutrientes, proporcionando economia em fertilizantes fosfatados (25%) e aumento na produção (8-10%). Sundara, Natarajan e Hari (2002) em trabalho semelhante com *Bacillus megaterium* em cana mostraram que a inoculação proporcionou maior perfilhamento, aumento na produção e redução na dose do fertilizante fosfatado solúvel aplicado, sendo que metade da dose deste pode ser substituída por fosfato de rocha, fonte mais barata. Piccini e Azcon (1987) demonstraram que bactérias solubilizadoras de fosfato melhoraram a eficiência do fosfato de Bayovar, resultando numa maior utilização do fósforo na nutrição da alfafa.

Supanjani et al. (2006) mostraram que aplicações de rochas fosfáticas e potássicas em conjunto com bactérias solubilizadoras de fosfato e potássio em solos pobres da Coreia, no cultivo da pimenta, apresenta eficiência similar aos fertilizantes solúveis, podendo ser uma alternativa sustentável à utilização de fertilizantes clássicos. Akhtar et al. (2010) inocularam sementes de algodão com *Bacillus sp* e obtiveram aumento significativo no crescimento e rendimento das plantas em todos os parâmetros avaliados (número de sementes, número de capulhos, peso dos capulhos, comprimento de fibra,

altura da planta), além de aumento na concentração de fósforo na planta e no solo. Costa et al. (2013) avaliaram os efeitos da adubação sobre a associação raiz-bactérias solubilizadoras de fosfato na cultura do arroz e mostraram que os microorganismos contribuem mais efetivamente em condições pobres de nutrientes, havendo uma pressão seletiva contra eles em condições de nutrição mais adequada, evidenciando a influência do meio sobre a eficiência dos microorganismos solubilizadores.

Segundo Arcand e Schneider (2006) o uso combinado de microorganismos solubilizadores de fosfato com fungos micorrízicos pode aumentar a absorção de fósforo pelas plantas. Souchie et al. (2006) mostraram que a coinoculação de fungos solubilizadores de fosfato com fungos micorrízicos favoreceu o desenvolvimento do trevo cultivado em vaso e fertilizado com fosfato de alumínio. Babana e Antoun (2007) inocularam sementes de trigo com microorganismos solubilizadores de fosfato associados com fungos micorrízicos arbusculares em solos fertilizados com fosfato de rocha no Mali e obtiveram rendimentos de grãos comparáveis aos obtidos usando DAP, fertilizante de custo bem mais elevado. Cosme e Wurst (2013) observaram interações positivas entre *Pseudomonas fluorescens* e fungos micorrízicos arbusculares, dependentes do nível de nutrientes do solo e do equilíbrio hormonal da raiz, sendo que em plantas deficientes em citocinina ocorreu aumento nas hifas de micorrizas, com *Pseudomonas* podendo alterar a morfologia das raízes, promovendo o crescimento de plantas.

Além da interação com fungos micorrízicos, a coinoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato com bactérias nodulantes tem trazido bons resultados. Valverde et al. (2006) avaliaram os efeitos da coinoculação de *Pseudomonas jessenii* (bactéria solubilizadora de fosfatos) e *Mezorhizobium ciceri* (bactéria nodulante) sobre a produção de grão de bico em casa de vegetação e no campo e obtiveram um aumento na produtividade de grãos, sugerindo que *P. jessenii* pode agir sinergicamente com *M. ciceri* na promoção do crescimento de grão de bico. Afzal, Bano e Fatima (2010) obtiveram aumentos de 38% e 12% na produtividade da soja em casa de vegetação e campo, respectivamente, com a coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Pseudomonas* em comparação com a fertilização somente com fósforo.

Baldotto et al. (2012) estudaram o crescimento inicial e a nutrição do milho em resposta à inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio (*Herbaspirillum seropedicae*) e solubilizadoras de fosfato de rocha (*Burkholderi sp*) e concluíram que as plantas apresentaram maiores teores de nitrogênio e fósforo foliares e maior crescimento

quando comparadas ao controle, sem inoculação e que quando se acrescentou vermicomposto o efeito foi ainda maior. Carneiro et al. (2004) já haviam mostrado que o sistema de plantio direto proporciona um ambiente mais favorável a ocorrência de fungos e bactérias solubilizadoras de fosfato devido a maior quantidade de matéria orgânica. Nakayan et al. (2013) mostraram que solubilizadores de fosfato *Meyerozyma guilliermondii* reduziram a aplicação de fertilizantes minerais sem afetar a produtividade do milho.

2.3.5 Perspectivas futuras e comercialização de inoculantes

Os microorganismos solubilizadores de fosfato desempenham importante papel na nutrição de plantas através do aumento da disponibilidade de fósforo. O manejo de populações de microorganismos existentes com o objetivo de otimizar a sua capacidade para solubilizar fosfatos ou a inoculação com microorganismos específicos são estratégias utilizadas (RICHARDSON; SIMPSON, 2011). No entanto, mais estudos são necessários para se conhecer a real capacidade de solubilizar fósforo de diferentes fontes e frações do solo, compreender melhor as interações microbianas que ocorrem na rizosfera ou dentro das raízes (endófitos), bem como entre solubilizadores de fosfato e outros microorganismos promotores de crescimento e como as práticas agrícolas influenciam esse processo (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999; RICHARDSON; SIMPSON, 2011).

Para Leggett et al. (2007), além de extensa pesquisa de campo para confirmar a eficiência dos solubilizadores e sua compatibilidade com defensivos, estudos devem ser feitos com o objetivo de melhorar a produção e comercialização dos inoculantes como sistemas de controle que garantam a qualidade do produto entregue ao agricultor, embalagens adequadas que permitam estabilidade do produto na prateleira e facilidade de manuseio. Ainda segundo Vassilev, Löbermann e Vassileva (2012) uma atenção especial deve ser dada nas estratégias de desenvolvimento dos inoculantes visando aumentar sua proteção contra fatores abióticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do local

Realizou-se dois experimentos, os quais foram conduzidos no período de março a agosto, na Fazenda do Engenho, localizada no município de Pompéia, região oeste do Estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 22°03'28" S e 50°09'59" W, altitude de 560 m, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico (EMBRAPA,2006), cuja análise química, de acordo com Raij et al. (2001) , física (EMBRAPA, 1997) e fósforo remanescente (ALVAREZ et al., 2000) para a camada de 0 – 20 cm de profundidade encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas da área do experimento

pH		M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V
CaCl ₂	H ₂ O	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----			mmolc dm ⁻³	-----			%
4,8	5,6	14	5	1,8	10	4	1	20	16	36	44

S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	P rem	Argila	Silte	Areia
-----			mg dm ⁻³	-----		mg dm ⁻³	-----	g kg ⁻¹	-----
7	0,7	23	49,2	0,5	0,48	53,4	46	52	902

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

3.2.1 Experimento 1

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 3 x 3 + 1, envolvendo fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem aplicação de fósforo), microorganismo (*Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas SB* e sem microorganismo) e uma testemunha (superfosfato triplo) como tratamento adicional

(Tabela 2) com 4 repetições, num total de 40 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída de 4 linhas de milho com 12m de comprimento, espaçadas de 0,8m, com 4,5 plantas por metro linear, correspondendo a uma área total de 38,4m². Foi considerada como área útil as 2 linhas centrais, desprezando-se 1,0m em cada extremidade, num total de 16 m².

Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento 1.

Tratamentos
1. Apatita + calcário
2. Apatita + calcário + <i>Pseudomonas fluorescens</i>
3. Apatita + calcário + <i>Pseudomonas SB</i>
4. Fosfato de Arad + calcário
5. Fosfato de Arad + calcário + <i>Pseudomonas fluorescens</i>
6. Fosfato de Arad + calcário + <i>Pseudomonas SB</i>
7. Sem fósforo + calcário
8. Sem fósforo + calcário + <i>Pseudomonas fluorescens</i>
9. Sem fósforo + calcário + <i>Pseudomonas SB</i>
10. Superfosfato triplo + calcário

3.2.2 Experimento 2

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3, envolvendo fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e microorganismos (sem microorganismo, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) (Tabela 3) com 4 repetições, num total de 24 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída de 4 linhas de milho com 12 metros de comprimento, espaçadas de 0,8 metro, com 4,5 plantas por metro linear, correspondendo a uma área total de 38,4 metros quadrados. Foi considerada como área útil as 2 linhas centrais, desprezando-se 1,0 metro em cada extremidade, num total de 16 metros quadrados.

Tabela 3. Tratamentos utilizados no experimento 2.

Tratamentos
1. Apatita
2. Apatita + <i>Pseudomonas fluorescens</i>
3. Apatita + <i>Pseudomonas SB</i>
4. Fosfato de Arad
5. Fosfato de Arad + <i>Pseudomonas fluorescens</i>
6. Fosfato de Arad + <i>Pseudomonas SB</i>

3.3 Preparo da área e implantação dos experimentos

A área estava ocupada com pastagem (*Braquiaria decumbens*). Seis meses antes do plantio foi feita uma aração e duas gradagens para eliminação das plantas existentes, tomando-se o cuidado para deixar restos culturais na superfície do solo para evitar problemas de erosão. Nesta ocasião foi aplicado $1,0t\ ha^{-1}$ de calcário PRNT 90%, contendo 31% de CaO e 21% de MgO, para elevar a V% a 70.

A semeadura foi realizada no dia 04/03/2014, utilizando-se uma semeadora-adubadora de 2 linhas para plantio convencional. O milho híbrido adotado foi o AG 8088, transgênico, resistente a lagarta do cartucho e ao glifosato. A adubação de semeadura para nitrogênio e potássio foi a mesma para os dois experimentos e para todos os tratamentos, com a aplicação de $67kg\ ha^{-1}$ de uréia (30kg de N) e $67kg\ ha^{-1}$ de cloreto de potássio (40kg K_2O), visando uma produtividade de $6t\ ha^{-1}$ de grãos, de acordo com Raij et al.(1997). Quanto ao fósforo, foi aplicado $80kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (RAIJ et al., 1997) utilizando como fontes o superfosfato triplo (42% de P_2O_5), fosfato de Arad (30% de P_2O_5) e fosfato de Araxá (20% de P_2O_5), distribuídos manualmente e também igual para os dois experimentos. O superfosfato triplo e o fosfato de Arad foram aplicados em sulco, ao lado da linha, imediatamente após o plantio, sendo o fosfato de Arad misturado com a terra. O fosfato de Araxá foi aplicado a lanço e incorporado com grade, antes da semeadura.

A inoculação foi feita 45 minutos antes da semeadura, misturando-se bem o inoculante com as sementes. Para *Pseudomonas fluorescens* foi utilizado o produto comercial Rizofosliq. na dose de 100mL para 20kg de sementes de milho e 40mL de Premax, um protetor bacteriano que melhora a sobrevivência das bactérias e permite alta aderência com a semente. O Premax foi misturado ao Rizofosliq antes da inoculação, de acordo com a recomendação do fabricante. A inoculação com *Pseudomonas SB* foi feita utilizando-se 100mL do preparado bacteriano para 20kg de sementes de milho.

3.4 Condução dos experimentos

A emergência das plântulas ocorreu no dia 09/03/2014. No dia 14/03 foi feita uma capina manual para retirada da braquiária. No dia 31/03 foi realizada a adubação de cobertura com $80kg\ ha^{-1}$ de N, utilizando como fertilizante o sulfato de amônio (20% N) na dose de $400kg\ ha^{-1}$. No dia 02/04 foi feito o controle de plantas

daninhas com a aplicação de 2,5 L ha⁻¹ de glifosate + 3L ha⁻¹ de atrasina, utilizando um pulverizador costal.

A colheita foi feita no dia 31/07/2014, com as espigas da parcela útil sendo colhidas manualmente e colocadas em sacos identificados.

3.5 Caracterização do clima e balanço hídrico

O clima predominante na região de Pompéia (SP), de acordo com a classificação de Köppen, é o mesotérmico tropical chuvoso com inverno seco (Cwa). A precipitação média anual é de 1296mm, sendo mais elevada em dezembro e menor em agosto. A temperatura média anual é de 22,5°C, sendo o mês mais quente janeiro (25,2°C) e o mês mais frio julho (19,3°C). A Figura 1 ilustra o balanço hídrico (THORNTWAITE; MATHER, 1955) relativo ao ano do experimento (2014).

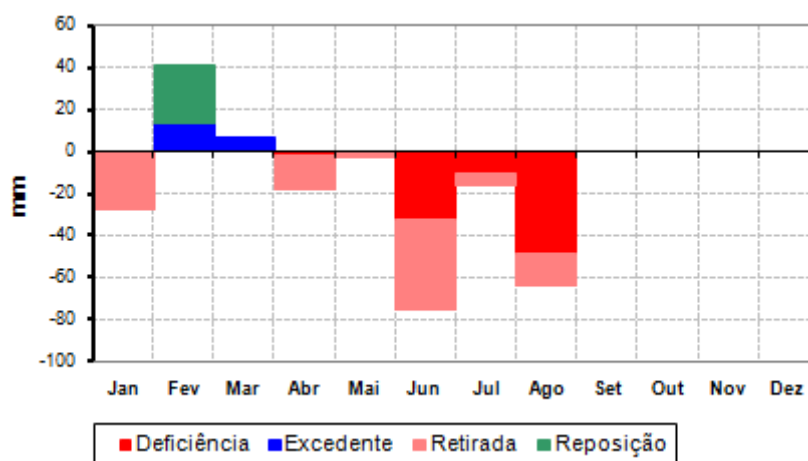


Figura 1. Deficiência, excedente, retirada e reposição de água no solo para armazenamento de 100mm, durante o período experimental, de janeiro de 2014 a outubro de 2014, Pompéia (SP), 2014.

3.6 Avaliações

As plantas de milho foram conduzidas até a colheita. Os efeitos da inoculação das bactérias associadas a fontes de baixa solubilidade de fósforo foram avaliados por meio dos seguintes parâmetros: teor de fósforo na folha (no florescimento), altura da planta no florescimento, diâmetro do colmo no florescimento, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileira de grãos por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, produtividade, teor de fósforo no grão e índice de eficiência agronômica dos fosfatos.

3.6.1 Teor de fósforo na folha

Para determinar o teor de fósforo na folha foram coletadas amostras de tecidos foliares de 8 plantas por parcela, escolhidas aleatoriamente, seguindo a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997): folha que abraça a espiga, lamina inteira acima da lígula, após a polinização. Após a coleta, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises Agronômicas da Fundação Shunji Nishimura de Tecnologia. Para análise, foi utilizado o terço central das folhas, as quais foram lavadas com detergente neutro e água destilada e deionizada, sendo posteriormente secas em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura variando entre 60 e 70°C e moídas em moinho de aço inoxidável. O N foi determinado pelo método Kjeldahl (digestão sulfúrica e destilação por arraste de vapor na forma de amônia – NH₃); P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn extraídos por digestão nítrico-perclórica e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn), fotometria de chama de emissão (K), colorimetria (P) e turbidimetria do sulfato de bário (S); B extraído por digestão via seca (incineração) e determinado por colorimetria da azometina H (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). Os resultados obtidos foram expressos em g kg⁻¹ de matéria seca para macronutrientes e mg kg⁻¹ de matéria seca para micronutrientes.

3.6.2 Altura da planta

A altura de plantas (A) foi determinada medindo-se a distância, em centímetros (cm), entre a superfície do solo e a inserção da folha bandeira, média de 10 plantas escolhidas aleatoriamente da área útil das parcelas experimentais, por ocasião do florescimento masculino.

3.6.3 Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo (D) foi determinado medindo-se em centímetros (cm), com o auxílio de um paquímetro, o primeiro entre-nó acima do colo, das mesmas plantas a que se refere o item 3.6.2, efetuando-se a média.

3.6.4 Comprimento da espiga

O comprimento da espiga (CE) foi determinado pela média de 20 espigas provenientes da área útil das parcelas experimentais, medindo-se em centímetros (cm), com o auxílio de um paquímetro, da base ao ápice da espiga, efetuando-se a média.

3.6.5 Diâmetro da espiga

O diâmetro da espiga (DE) foi determinado medindo-se em centímetros (cm), com o auxílio de um paquímetro, a porção central das espigas referidas no item 3.6.4, efetuando-se a média.

3.6.6 Número de fileiras de grãos por espiga

O número de fileira de grãos (NF) foi determinado pela contagem nas mesmas espigas referidas no item 3.6.4, efetuando-se a média.

3.6.7 Número de grãos por fileira

O número de grãos por fileira (NGF) foi determinado pela contagem nas mesmas espigas a que se refere o item 3.6.4, efetuando-se a média.

3.6.8 Número de grãos por espiga

O número de grãos por espiga (NGE) foi obtido pela multiplicação do número de fileiras de grãos (item 3.6.6) e o número de grãos por fileira (item 3.6.7), efetuando-se a média.

3.6.9 Massa de 100 grãos

A massa de cem grãos (100 G) foi determinada em gramas, com o auxílio de uma balança eletrônica, segundo metodologia descrita por BRASIL (1992), com o teor de água dos grãos corrigido para 13%.

3.6.10 Produtividade

A produtividade (P) foi obtida a partir da colheita, debulha manual e pesagem dos grãos provenientes das espigas da área útil das parcelas, determinando-se o teor de água pelo método gravimétrico (BRASIL, 1992), com a umidade sendo ajustada para 13% e o resultado expresso em kg ha⁻¹.

3.6.11 Teor de fósforo no grão

O teor de fósforo nos grãos foi determinado por ocasião da colheita, em amostras provenientes da área útil das parcelas. Após secagem em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura entre 60 e 70°C, os grãos foram moídos e o teor de fósforo determinado segundo metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989). Os resultados obtidos foram expressos em g kg⁻¹ de matéria seca.

3.6.12 Índice de eficiência agronômica dos fosfatos

A eficiência dos fertilizantes fosfatados foi avaliada através do índice de eficiência agronômica (IEA), calculada com base na diferença de produção obtida entre os fosfatos testados nos tratamentos e o superfosfato triplo, conforme a seguinte fórmula:

$$IEA = \frac{(\text{produção com fosfato avaliado} - \text{produção sem fósforo})}{(\text{produção com supertriplo} - \text{produção sem fósforo})} \times 100$$

3.7. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. No experimento 1 para a comparação com o tratamento adicional foi realizado o teste de Dunnet também à 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1

4.1.1 Teor de fósforo na folha

Houve interação estatística significativa entre as fontes de fósforo e microorganismos (Tabela 4). Em plantas sem inoculação, o teor de fósforo na folha foi maior quando foi utilizado apatita e fosfato de Arad em relação às plantas que não receberam adubação fosfatada. Já quando foi feita a inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, obteve-se maior teor de fósforo na folha com o fosfato de Arad em relação às plantas que não receberam fósforo. Quando utilizou-se *Pseudomonas SB* na inoculação, não houve diferença estatística entre os teores de fósforo na folha para as fontes utilizadas. Em relação a apatita, não houve diferença estatística para teor de fósforo na folha em relação a inoculação. Quando utilizou-se fosfato de Arad, as plantas sem inoculação apresentaram maior teor de fósforo na folha que as inoculadas com *Pseudomonas SB*. E para os tratamentos que não utilizou-se fósforo, as plantas inoculadas com *Pseudomonas SB* apresentaram maior teor de fósforo na folha em relação as plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*, que também diferiram das plantas que não receberam inoculação, mostrando que as bactérias conseguiram acelerar a disponibilidade de alguma fonte de fósforo no solo, possivelmente proveniente da mineralização do fósforo contido na braquiária que ocupava a área anteriormente ao cultivo do milho.

Nahas, Fornasieri e Assis (1994) também não obtiveram efeito na absorção de fósforo pelo milho utilizando o fungo solubilizador *Aspergillus niger* sobre fosfato de rocha. Já Chaves, Zucarelli e Oliveira Júnior (2013) utilizando fosfato de origem sedimentar não reativo obtiveram aumento nos teores de fósforo foliar com a inoculação de

sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens*, diferindo dos resultados obtidos neste estudo. Segundo os autores, a inoculação via semente solubilizou fósforo inorgânico para a solução do solo, e com isso a planta teve maior absorção foliar. No mesmo trabalho, quando foi adicionado uma fonte solúvel de fósforo (superfosfato triplo) em combinação com o fosfato natural, o efeito foi contrário, mostrando que a bactéria apresenta maior resposta na fonte de fósforo mais insolúvel. Andreotti et al. (2008) inoculando sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens* e Baldotto et al. (2012) inoculando um substrato com suspensões bacterianas contendo bactérias fixadoras de nitrogênio e solubilizadoras de fosfato obtiveram maiores teores desses nutrientes em folhas de milho, assim como crescimento mais elevado.

Tabela 4. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo na folha de plantas de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	1,90 aA	1,96 abA	1,83 aA
Fosfato de Arad	2,23 aA	2,13 aAB	1,84 aB
Sem fósforo	1,26 bC	1,64 bB	2,00 aA
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	0,318		
P FF x Micro	<0,001		

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($P>0,05$).

A Tabela 5 mostra a análise de variância para teor de fósforo na folha e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo diferiu da apatita e do fosfato de Arad inoculados com *Pseudomonas SB*. Para ambas as fontes, sem inoculação e com *Pseudomonas fluorescens* não houve diferença estatística com o superfosfato triplo. Quando não houve a aplicação de fósforo, o superfosfato triplo diferiu dos tratamentos sem inoculação e inoculado com *Pseudomonas fluorescens*.

Tabela 5. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de teor de fósforo na folha de plantas de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	1,90 \pm 0,26 a	1,96 \pm 0,35 a	1,83 \pm 0,06
Fosfato de Arad	2,23 \pm 0,04 a	2,13 \pm 0,17 a	1,84 \pm 0,18
Sem fósforo	1,26 \pm 0,13	1,64 \pm 0,23	2,00 \pm 0,09 a
Super triplo	2,24 \pm 0,11 a	---	---
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	0,318		
P FF x Microorg.	<0,001		
P Fat x Adic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnet ($P>0,05$).

O valor de fósforo foliar obtido com o superfosfato triplo (2,24g kg^{-1}) situa-se na faixa adequada para o elemento, que segundo Cantarella, Raij e Camargo (1997) está entre 2,0 a 4,0g kg^{-1} . Os valores obtidos com a apatita e fosfato de Arad situaram-se próximos dos valores adequados (Tabela 5).

Os resultados das análises foliares para os demais nutrientes (Tabelas 6 e 7) indicam que estão com teores adequado para a cultura, de acordo com Cantarella, Raij e Camargo (1997).

Tabela 6. Teores de macronutrientes na folha de milho (g kg^{-1} de m.s.)

Tratamentos	Macronutrientes				
	N	K	Ca	Mg	S
T01 (Apatita)	28	16	4,2	1,3	1,6
T02(Apatita+P.fluorescens)	28	16	4,3	1,6	1,6
T03(Apatita+P.SB)	27	17	4,3	1,6	1,8
T04 (Arad)	29	18	4,8	1,8	1,7
T05 (Arad+P.fluorescens)	29	18	4,7	1,7	1,7
T06 (Arad+P.SB)	28	17	4,3	1,8	1,8
T07 (sem fósforo)	26	18	4,4	1,8	2,0
T08 (sem fósforo.+P.fluorescens)	26	17	3,9	1,6	1,4
T09 (sem fósforo +P.SB)	27	17	4,6	1,9	1,4
T10 (Super fosfato simples)	27	18	4,2	1,7	2,7
Teores adequados	27-35	17-35	2,5-8,0	1,5-5,0	1,5-3,0

Tabela 7. Teores de micronutrientes na folha de milho ($\text{mg kg}^{-1}\text{m.s.}$)

Tratamentos	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T01 (Apatita)	11	11	128	63	26
T02(Apatita+P.fluorescens)	12	11	123	60	25
T03(Apatita+P.SB)	13	12	131	64	30
T04 (Arad)	12	11	130	59	28
T05 (Arad+P.fluorescens)	11	12	134	55	32
T06 (Arad+P.SB)	10	13	137	75	35
T07 (sem fósforo)	12	12	134	52	32
T08 (sem fósforo.+P.fluorescens)	12	11	115	50	27
T09 (sem fósforo +P.SB)	11	11	124	59	32
T10 (Super fosfato simples)	9	12	136	71	26
Teores adequados	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100

A utilização de uma fonte de fósforo mais solúvel (superfosfato triplo) proporciona maior disponibilidade para as plantas. Frandoloso et al. (2010) obtiveram valores de fósforo maior no tecido foliar do milho com a utilização do superfosfato triplo em comparação com o fosfato natural reativo, ficando ambos na faixa adequada de acordo com Cantarella, Rajj e Camargo (1997). Carneiro et al. (2008) também obtiveram resultados semelhantes trabalhando com fosfato de Arad e superfosfato triplo aplicados a lanço e no sulco de plantio na cultura do milho, com o superfosfato triplo proporcionando maiores teores de fósforo foliar, porém ambas as fontes dentro da faixa adequada para a cultura. Souza et al. (2011) trabalhando com diferentes fontes de fósforo mostraram que o conteúdo de fósforo nas plantas de milho foi maior com a aplicação de superfosfato triplo em relação ao fosfato reativo e fosfato de Araxá e que quando se aplicou fosfato não reativo, o conteúdo de fósforo não diferiu em relação a testemunha. Barreto e Fernandes (2002) mostraram que o aumento da dose de fósforo no solo aumentava o teor na folha de milho, sendo aplicações a lanço para doses maiores de superfosfato triplo proporcionou maiores teores de fósforo foliar.

4.1.2 Altura da planta

Na Tabela 8 é mostrada a análise de variância para altura da planta e as médias para cada tratamento sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Não houve diferença significativa para as variáveis fonte de fósforo e inoculação e nem interação entre elas.

Tabela 8. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de altura de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	173,2 ± 14,9	186,4 ± 20,7	183,5 ± 12,5
Fosfato de Arad	193,0 ± 3,5	185,2 ± 25,8	177,6 ± 16,7
Sem fósforo	172,7 ± 10,3	177,2 ± 5,2	176,2 ± 11,4
<hr/>			
P Fonte Fósforo	0,289		
P Microorg.	0,795		
P FF x Micro	0,484		

A adubação fosfatada não promoveu alteração significativa na altura da planta para nenhuma fonte utilizada. Apesar do baixo teor de fósforo (5mg dm^{-3}) mostrado na análise de solo, pode ter ocorrido a mineralização de fósforo orgânico nos restos culturais da braquiária e a liberação de formas insolúveis de fósforo devido a calagem, suprindo o milho durante o seu desenvolvimento. A adubação nitrogenada e potássica e a elevação dos teores de cálcio e magnésio promovidos pela calagem também contribuíram para o bom desenvolvimento das plantas. Andreotti et al. (2001) avaliaram o crescimento do milho em função da saturação por bases e adubação potássica e mostraram que a elevação da saturação por bases a 70% juntamente com a adubação potássica promoveu aumento no desenvolvimento das plantas devido a maior quantidade de potássio, cálcio e magnésio. Hernandez e Silveira (1998) também obtiveram aumento no crescimento das plantas de milho com o aumento da saturação por bases e conseqüentemente maiores teores de cálcio e magnésio.

Quanto a inoculação, Zucareli et al. (2011) em ensaio de campo com milho adubado com superfosfato triplo não obtiveram incremento na altura da planta com a inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, sendo a altura da planta influenciada somente pela dose de fertilizante. Oliveira et al. (2012) em trabalho semelhante, conduzido em casa de vegetação também não obtiveram aumento na altura da planta com a inoculação com *Pseudomonas fluorescens*. Já Cardoso et al. (2008), em trabalho realizado em casa de vegetação obtiveram aumentos na altura de plantas de milho inoculadas com rizobactérias do gênero *Pseudomonas*. Chaves, Zucareli e Oliveira Júnior (2013) mostraram que a adubação com superfosfato triplo resultou em maior altura de planta em relação a fosfatos naturais, somente quando associado a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* e na ausência de inoculação as fontes não diferiram.

Entre os fatores que podem contribuir para a ausência de resposta à inoculação com rizobactérias está a competição com os microorganismos naturais do solo. Segundo Richardson e Simpson (2011) as interações entre microorganismos e plantas em condições de campo são bastante complexas e difíceis de compreender, tendo como consequência respostas altamente variáveis à inoculação. Outro fator importante são as condições do meio. Para Costa et al. (2013) as rizobactérias contribuem mais efetivamente em condições pobres de nutrientes, havendo pressão seletiva sobre elas em condições de nutrição mais adequada. Como as condições ambientais durante a condução do experimento foram favoráveis e os teores de nutrientes no solo atendiam a demanda da cultura pode não ter havido efeito na inoculação com *Pseudomonas*.

Na Tabela 9 é mostrada a análise de variância para altura da planta e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Nenhum tratamento diferiu significativamente do tratamento adicional. Apesar do superfosfato triplo proporcionar fósforo prontamente solúvel, isso não favoreceu o crescimento da planta.

Ernani, Steckling e Bayer (2001) obtiveram maior rendimento de matéria seca de milho em solo corrigido quando se utilizou fontes solúveis de fósforo (DAP e superfosfato triplo) em relação ao fosfato de Arad. Já onde não foi aplicado calcário, não houve diferença significativa entre as fontes devido a maior dissolução do fosfato natural em condição de pH mais baixo. Oliveira et al. (2009) também obtiveram resposta positiva na altura da planta de milho com adubação fosfatada utilizando superfosfato triplo como fonte. Maior altura da planta proporciona maior capacidade de armazenamento de sólidos solúveis no colmo, correlacionando positivamente com a produtividade de grãos de milho (SILVA et al., 2005; CRUZ et al., 2008). Segundo Grant et al. (2001) a falta de fósforo na fase inicial da planta restringe o crescimento, limitando seriamente a produção. Nascimento et al. (2014) em trabalho realizado em casa de vegetação com solo de textura arenosa mostraram que a aplicação de superfosfato triplo proporcionou maiores alturas de plantas de milho em relação aos fosfatos naturais, devido a menor solubilidade e menor eficiência destes, principalmente no ano de aplicação e em culturas anuais, que necessitam de alta demanda de fósforo em curto período de tempo. A alta solubilidade do superfosfato triplo libera prontamente o fósforo para o solo, favorecendo o desenvolvimento inicial das plantas. Oliveira et al. (2009) também

obtiveram resposta positiva na altura da planta de milho com adubação fosfatada utilizando superfosfato triplo como fonte.

Tabela 9. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de altura de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	173,2 ± 14,9	186,4 ± 20,7	183,5 ± 12,5
Fosfato de Arad	193,0 ± 3,5	185,2 ± 25,8	177,6 ± 16,7
Sem fósforo	172,7 ± 10,3	177,2 ± 5,2	176,2 ± 11,4
Super triplo	187,1 ± 7,5	---	---
P Fonte Fósforo	0,289		
P Microorg.	0,795		
P FF x Microorg.	0,484		
P Fat x PAdic.	0,3842		

4.1.3 Diâmetro do colmo

Na Tabela 10 são apresentados os resultados das análises de variância para diâmetro do colmo, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que essa característica não foi afetada pelos fatores fonte de fósforo, inoculação e interação entre os mesmos.

Tabela 10. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de diâmetro do colmo de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	2,00 ± 0,07	2,10 ± 0,11	2,02 ± 0,11
Fosfato de Arad	2,05 ± 0,07	2,05 ± 0,12	2,10 ± 0,11
Sem fósforo	2,01 ± 0,11	1,99 ± 0,05	2,04 ± 0,06
P Fonte Fósforo	0,319		
P Microorg.	0,668		
P FF x Micro	0,528		

O aumento nos teores de cálcio e magnésio, favorecendo o crescimento da planta e a liberação de formas insolúveis de fósforo no solo proporcionados pelo aumento do pH com a calagem podem ter contribuído para a ausência de resposta à adubação fosfatada. Segundo Tisdale, Nelson, Beaton (1985) a maior disponibilidade de fósforo no solo encontra-se na faixa de pH CaCl₂ 5,0 – 6,2 (5,5 – 6,8 pH em H₂O). O aumento do pH de 4,0 para 6,5 aumenta o fósforo na solução do solo e conseqüentemente a disponibilidade para as plantas (ANGHINONI, 2004). Em relação à apatita e ao fosfato de

Arad, o aumento do pH diminui a sua eficiência. Segundo Peruzzo e Wiethölter (2002) seu uso é mais viável em solos com pH em H₂O menor que 5,5. A utilização de fosfatos naturais, que se beneficiam da acidez do solo para sua solubilização em áreas que receberam calcário pode não ser eficiente, principalmente quando se eleva a saturação por bases para valores maiores que 70% (SOUZA, LOBATO, 2004).

A inoculação não promoveu alteração no diâmetro do colmo para nenhuma bactéria utilizada, estando de acordo com Oliveira (2010) e Chaves, Zucareli e Oliveira Junior (2013) que também não obtiveram alterações no diâmetro do colmo do milho com a inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* para nenhuma fonte de fósforo utilizada e nem para diferentes níveis de adubação.

A Tabela 11 mostra a análise de variância para diâmetro do colmo e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que nenhum tratamento diferiu significativamente do tratamento adicional, onde se utilizou superfosfato triplo, que teoricamente se beneficiaria da elevação do pH do solo pela calagem quando comparado a outras fontes menos solúveis.

Tabela 11. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de diâmetro de colmo de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	2,00 ± 0,07	2,10 ± 0,11	2,02 ± 0,11
Fosfato de Arad	2,05 ± 0,07	2,05 ± 0,12	2,10 ± 0,11
Sem fósforo	2,01 ± 0,11	1,99 ± 0,05	2,04 ± 0,06
Super triplo	2,00 ± 0,08	---	---
P Fonte Fósforo	0,319		
P Microorg.	0,668		
P FF x Micro	0,528		
P Fat x Adic.	0,6604		

Oliveira et al. (2009) em experimento realizado em casa de vegetação em um Latossolo amarelo obteve aumento no diâmetro do colmo de plantas de milho que receberam adubação fosfatada usando o superfosfato triplo. Nascimento et al. (2014) trabalhando com fontes de fósforo na adubação do milho também obtiveram respostas positivas no diâmetro do colmo com a utilização do superfosfato triplo em comparação com fosfatos naturais. O diâmetro de colmo pode apresentar correlação com a produtividade, já que se trata de um órgão de reserva da planta. Segundo Fancelli e

Dourado-Neto (2000) o colmo atua como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis, que serão usados na formação de grãos.

4.1.4 Comprimento da espiga

Na Tabela 12 são apresentados os resultados das análises de variância para comprimento da espiga, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que essa característica não foi afetada pelos fatores fonte de fósforo, inoculação e interação entre os mesmos.

Tabela 12. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de comprimento de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	15,1 ± 0,21	15,9 ± 0,74	15,0 ± 0,68
Fosfato de Arad	15,8 ± 0,16	15,3 ± 0,57	15,3 ± 0,36
Sem fósforo	14,4 ± 0,57	15,1 ± 0,62	15,2 ± 1,15
P Fonte Fósforo	0,117		
P Microorg.	0,425		
P FF x Microorg.	0,100		

A Tabela 13 mostra a análise de variância para comprimento da espiga de milho e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). O tratamento adicional (superfosfato triplo) mostrou-se estatisticamente superior ao tratamento sem fósforo e sem inoculação, porém não diferiu dos outros tratamentos. A utilização de uma fonte mais solúvel de fósforo é importante para o milho, já que o comprimento da espiga é definido no estágio fenológico em que a planta se encontra com doze folhas desenvolvidas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003). A utilização de fontes menos solúveis (fosfato de Arad e apatita), apesar de normalmente apresentarem menor eficiência em culturas anuais, já que estas necessitam de alta demanda de fósforo num curto espaço de tempo, não diferiu da fonte mais solúvel, mesmo com a elevação do pH e do conteúdo de cálcio proporcionado pela calagem.

Tabela 13. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de comprimento de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	15,1 ± 0,21 a	15,9 ± 0,74 a	15,0 ± 0,68 a
Fosfato de Arad	15,8 ± 0,16 a	15,3 ± 0,57 a	15,3 ± 0,36 a
Sem fósforo	14,4 ± 0,57	15,1 ± 0,62 a	15,2 ± 1,15 a
Super triplo	16,2 ± 0,17 a	---	---
P Fonte Fósforo	0,117		
P Microorg.	0,425		
P FF x Microorg.	0,100		
P Fat xAdic.	0,010		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnett (P>0,05).

4.1.5 Diâmetro da espiga

Houve interação significativa entre fonte de fósforo e inoculação (Tabela 14). Em plantas adubadas com apatita, o diâmetro da espiga de milho foi maior quando as sementes foram inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*. Já quando a fonte de fósforo utilizada foi o fosfato de Arad a inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* proporcionou menor diâmetro de espiga do que nas plantas inoculadas com *Pseudomonas SB* e sem inoculação. E quando não se utilizou nenhuma fonte de fósforo, não houve diferença para inoculação. Em relação à inoculação, não houve diferença no diâmetro da espiga para plantas que não foram inoculadas. Quando se utilizou *Pseudomonas fluorescens* obteve-se maior diâmetro de espiga com a apatita em relação ao fosfato de Arad e às plantas que não receberam fósforo. E quando se utilizou *Pseudomonas SB* na inoculação, o diâmetro da espiga foi maior para o fosfato de Arad. Segundo Oliveira (2010) em condições inadequadas de nutrição do fósforo não há resposta à inoculação, contradizendo o resultado do trabalho de Chaves, Zucarelli e Oliveira Júnior (2013), que afirmaram que a rizobactéria apresenta maior resposta onde não há fósforo disponível. No caso do menor diâmetro de espiga obtido com apatita + *Pseudomonas SB* e fosfato de Arad + *Pseudomonas fluorescens* pode ter havido incompatibilidade das bactérias associadas a estas fontes.

Tabela 14. Resumo de análise da variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de diâmetro de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	4,97 aB	5,15 aA	4,88 bB
Fosfato de Arad	5,06 aA	4,84 bB	5,05 aA
Sem fósforo	4,93 aA	4,94 bA	4,94 bA
P Fonte Fósforo	0,228		
P Microorg.	0,736		
P FF x Micro	<0,001		

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (P>0,05).

A Tabela 15 mostra a análise de variância para diâmetro da espiga de milho e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo mostrou-se superior estatisticamente somente aos tratamentos apatita + *Pseudomonas SB* e fosfato de Arad + *Pseudomonas fluorescens*, provavelmente pela incompatibilidade da associação das bactérias com essas fontes de fósforo.

Tabela 15. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de diâmetro de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	4,97 ± 0,02 a	5,15 ± 0,11 a	4,88 ± 0,04
Fosfato de Arad	5,06 ± 0,01 a	4,84 ± 0,17	5,05 ± 0,09 a
Sem fósforo	4,93 ± 0,06 a	4,94 ± 0,14 a	4,94 ± 0,04 a
Super triplo	5,10 ± 0,01 a	---	---
P Fonte Fósforo	0,228		
P Microorg.	0,736		
P FF x Microorg.	<0,001		
P Fat xAdic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnett (P>0,05).

4.1.6 Número de fileiras de grãos

Houve interação significativa entre fontes de fósforo e inoculação (Tabela 16). Em plantas adubadas com apatita, a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* promoveu aumento no número de fileira de grãos em relação a plantas sem inoculação. Quando utilizou-se o fosfato de Arad, somente plantas inoculadas com *Pseudomonas SB* apresentaram maior número de fileira de grãos, diferindo daquelas e sem

inoculação. Já para as plantas que não receberam adubação, a inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* proporcionou maior número de fileira de grãos em comparação com as plantas sem inoculação. Em relação à inoculação, plantas que não foram inoculadas e não receberam adubação fosfatada apresentaram menor número de fileira de grãos que aquelas adubadas com fosfato de Arad. Quando as sementes foram inoculadas com *Pseudomonas SB*, as plantas que não receberam adubação fosfatada apresentaram menor número de fileira de grãos do que as adubadas com apatita e fosfato de Arad. Já quando utilizou-se *Pseudomonas fluorescens*, não houve diferença no número de fileira de grãos para a fonte utilizada.

Tabela 16. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de fileira de grãos em função da interação de fontes de fósforo (apatita, fosfato de Arad e sem fósforo) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	16,27 abB	16,93 aA	17,27 aA
Fosfato de Arad	16,67 aB	16,90 aAB	17,13 aA
Sem fósforo	16,07 bB	16,87 aA	16,20 bAB
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	<0,001		
P FF x Micro	<0,001		

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($P > 0,05$).

A Tabela 17 mostra a análise de variância para número de fileira de grãos e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo mostrou-se superior estatisticamente a todos os tratamentos, exceto quando foi utilizado apatita e fosfato de Arad associados à inoculação das sementes com *Pseudomonas SB*. Mesmo utilizando fontes de menor solubilidade (fosfato de Arad e principalmente apatita), a *Pseudomonas SB* pode ter sido capaz de solubilizar fósforo para as plantas, proporcionando aumento no número de fileira de grãos da espiga.

Tabela 17. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de fileira de grãos em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	16,27 ± 0,05	16,93± 0,09	17,27± 0,20 a
Fosfato de Arad	16,67± 0,09	16,90± 0,22	17,13± 0,12 a
Sem fósforo	16,07± 0,61	16,87± 0,17	16,20± 0,08
Super triplo	17,50± 0,29 a	---	---
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	<0,001		
P FF x Micro	<0,001		
P Fat x Adic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnet (P>0,05).

4.1.7 Número de grãos por fileira

Na Tabela 18 são apresentados os resultados das análises de variância para número de grãos por fileira, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Houve diferença significativa para as variáveis fonte de fósforo e inoculação, porém não houve interação positiva entre elas.

Tabela 18. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por fileira em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>	Média
Apatita	33,0 ± 0,7	34,8 ± 0,9	31,3 ± 1,0	33,1ab
Fosfato de Arad	34,6 ± 0,9	34,2 ± 0,4	33,9 ± 0,9	34,2a
Sem fósforo	32,0 ± 0,3	33,3 ± 1,9	32,4 ± 1,7	32,6b
Média	33,2AB	34,1A	32,5B	
P Fonte Fósforo	0,005			
P Microorg.	0,011			
P FF x Micro	0,057			

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (P>0,05).

As plantas adubadas com fosfato de Arad apresentaram maior número de grãos por fileira em relação a plantas que não receberam fósforo. Em relação à inoculação, a utilização de *Pseudomonas SB* proporcionou decréscimo no número de grãos por fileira, diferindo do tratamento com inoculação com *Pseudomonas fluorescens*. Neste caso, pode ter havido incompatibilidade na inoculação desta bactéria associada a estas

fontes. Oliveira (2010) e Oliveira et al. (2012) obtiveram resposta no número de grãos por fileira com a inoculação de rizobactérias, porém utilizando o superfosfato triplo.

A Tabela 19 mostra a análise de variância para número de grãos por fileira e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). O tratamento adicional (superfosfato triplo) mostrou-se superior a todos os outros exceto aos tratamentos apatita + *Pseudomonas fluorescens* e fosfato de Arad sem inoculação, proporcionando maior número de grãos por fileira.

Tabela 19. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por fileira em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	33,0 ± 0,7	34,8 ± 0,9 a	31,3 ± 1,0
Fosfato de Arad	34,6 ± 0,9 a	34,2 ± 0,4	33,9 ± 0,9
Sem fósforo	32,0 ± 0,3	33,3 ± 1,9	32,4 ± 1,7
Super triplo	36,9 ± 0,5 a	---	---
P Fonte Fósforo	0,005		
P Microorg.	0,011		
P FF x Micro	0,057		
P Fat x Adic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnet (P>0,05).

4.1.8 Número de grãos por espiga

Na Tabela 20 são apresentados os resultados das análises de variância para número de grãos por espiga, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Houve diferença significativa para as variáveis fonte de fósforo e inoculação, porém não houve interação positiva entre elas. As plantas adubadas com fosfato de Arad apresentaram maior número de grãos por espiga do que as plantas que não receberam fósforo. Em relação à inoculação, plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* apresentaram maior número de grãos na espiga do que as plantas sem inoculação.

Tabela 20. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por espiga de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>	Média
Apatita	536,8 ± 9,0	599,3 ± 25,9	567,2 ± 15,4	567,8ab
Fosfato de Arad	562,5 ± 6,6	577,2 ± 15,3	580,6 ± 19,3	573,4a
Sem fósforo	527,2 ± 23,2	561,5 ± 34,3	530,0 ± 29,0	539,6b
Média	542,2B	579,3A	559,3AB	
P Fonte Fósforo	<0,001			
P Microorg.	<0,001			
P FF x Micro	0,182			

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

A Tabela 21 mostra a análise de variância para número de grãos por espiga e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo proporcionou maiores valores para essa característica avaliada diferindo estatisticamente de todos os tratamentos.

Tabela 21. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de número de grãos por espiga de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	536,8 ± 9,0	599,3 ± 25,9	567,2 ± 15,4
Fosfato de Arad	562,5 ± 6,6	577,2 ± 15,3	580,6 ± 19,3
Sem fósforo	527,2 ± 23,2	561,5 ± 34,3	530,0 ± 29,0
Super triplo	649,3 ± 19,2 a	---	---
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	<0,001		
P FF x Micro	0,182		
P Fat x Adic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnet (P>0,05).

4.1.9 Massa de 100 grãos

Na Tabela 22 são apresentados os resultados das análises de variância para massa de 100 grãos, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Houve interação significativa entre fonte de fósforo e inoculação. Em plantas sem inoculação, a massa de 100 grãos foi maior quando foi utilizado fosfato de Arad em relação às plantas que não receberam adubação fosfatada. Já quando foi feita a inoculação das sementes com

Pseudomonas fluorescens, o fosfato de Arad proporcionou maior massa de 100 grãos em relação às plantas que não receberam fósforo e àquelas adubadas com apatita. Para *Pseudomonas SB*, as plantas que não receberam adubação fosfatada apresentaram maior massa de 100 grãos do que aquelas adubadas com fosfato de Arad. Em relação à apatita, as plantas sem inoculação e inoculadas com *Pseudomonas SB* apresentaram massa de 100 grãos maiores que as inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*. Já quando utilizou-se fosfato de Arad, não houve diferença estatística para massa de 100 grãos em relação à inoculação. E para os tratamentos que não utilizou-se fósforo, as plantas inoculadas com *Pseudomonas SB* apresentaram maior massa de 100 grãos em relação às plantas que não receberam inoculação, que também diferiram das plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*. Chaves, Zucarelli e Oliveira Júnior (2013) não obtiveram aumento na massa de 100 grãos com a inoculação de sementes de milho, utilizando como fonte de fósforo fosfato natural reativo e não reativo, além de superfosfato triplo.

Tabela 22. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de massa de 100 grãos de milho (g) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	30,67 abA	28,37 bB	30,70 abA
Fosfato de Arad	31,43 aA	30,20 aA	30,17 bA
Sem fósforo	29,20 bB	27,36 bC	31,77 aA
P Fonte Fósforo	0,015		
P Microorg.	<0,001		
P FF x Micro	<0,001		

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (P>0,05).

A Tabela 23 mostra a análise de variância para massa de 100 grãos e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo proporcionou maior valor para essa característica avaliada diferindo estatisticamente de todos os tratamentos, exceto das plantas inoculadas com *Pseudomonas SB* e que não receberam adubação fosfatada.

Tabela 23. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de massa de 100 grãos de milho (g) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	30,67± 0,3	28,37 ± 1,8	30,70 ± 1,1
Fosfato de Arad	31,43 ± 0,3	30,20 ± 1,2	30,17 ± 0,4
Sem fósforo	29,20 ± 0,5	27,36 ± 0,3	31,77 ± 0,8 a
Super triplo	33,70 ± 1,7 a	---	---
P Fonte Fósforo	<0,015		
P Microorg.	<0,001		
P FF x Micro	<0,001		
P Fat x Adic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnett (P>0,05).

4.1.10 Produtividade

Na Tabela 24 são apresentados os resultados das análises de variância para produtividade, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Houve diferença significativa para as variáveis fonte de fósforo e inoculação, porém não houve interação positiva entre elas. O fosfato de Arad proporcionou maior produtividade em relação à apatita e a não aplicação de fósforo. Em relação à inoculação, plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* apresentaram maior produtividade em relação àquelas inoculadas com *Pseudomonas SB*, porém não diferiram das plantas que não receberam inoculação. Chaves, Zucarelli e Oliveira Júnior (2013) não obtiveram resposta inoculando sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens* utilizando fosfato natural reativo e não reativo como fonte de fósforo.

Tabela 24. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de produtividade de milho (kg ha⁻¹ a 13% de umidade) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>	Média
Apatita	6304 ± 190	7004 ± 1157	5667 ± 536	6325,0b
Fosfato de Arad	7360 ± 70	7000 ± 690	6480 ± 358	6946,4a
Sem fósforo	5901 ± 439	6438 ± 714	6200 ± 613	6179,8b
Média	6521,8AB	6814,0A	6115,4B	
P Fonte Fósforo	0,001			
P Microorg.	0,031			
P FF x Micro	0,147			

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

A Tabela 25 mostra a análise de variância para produtividade e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo proporcionou maior produtividade, diferindo estatisticamente de todos os tratamentos, exceto daqueles em que as plantas foram inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* e adubadas com fosfato de Arad e apatita e adubado com fosfato de Arad sem inoculação.

Tabela 25. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de produtividade de milho (kg ha⁻¹ a 13% de umidade) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	6304 ± 190	7004 ± 1157 a	5667 ± 536
Fosfato de Arad	7360 ± 70 a	7000 ± 690 a	6480 ± 358
Sem fósforo	5901 ± 439	6438 ± 714	6200 ± 613
Super triplo	7246 ± 129 a	---	---
P Fonte Fósforo	0,001		
P Microorg.	0,031		
P FF x Micro	0,147		
P Fat x Adic.	0,0054		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnett (P>0,05).

As condições climáticas favoráveis durante o desenvolvimento da cultura contribuíram para as boas produtividades (7246kg ha⁻¹ para o superfosfato triplo). Quanto a produtividade de 6000kg ha⁻¹ sem aplicação de fósforo, apesar do baixo teor de fósforo disponível no solo (5mg dm⁻³), a participação de outras formas de fósforo, no caso fósforo orgânico, não detectado pelo extrator pode ter colaborado no suprimento da planta. A ocupação da área há vários anos com braquiária, tida como cultura com grande capacidade para ciclar fósforo (SILVA et al. 2003) corrobora essa teoria. Além disso, o híbrido de milho utilizado, recomendado para as condições da região, onde os solos apresentam baixos teores de fósforo disponível, não é tão exigente em fósforo quanto os recomendados para regiões de alto potencial produtivo.

4.1.11 Teor de fósforo no grão

Na Tabela 26 são apresentados os resultados das análises de variância para teor de fósforo no grão, sem o tratamento adicional (superfosfato triplo). Houve interação significativa entre fonte de fósforo e inoculação. Em plantas sem

inoculação e inoculadas com *Pseudomonas SB* não houve diferença estatística entre os teores de fósforo no grão para as fontes utilizadas. Já para plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*, o teor de fósforo no grão foi maior para plantas adubadas com apatita e fosfato de Arad em relação às plantas que não receberam fósforo. Em relação à apatita e o fosfato de Arad, as plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* apresentaram maior teor de fósforo no grão quando comparadas com às sem inoculação e inoculadas com *Pseudomonas SB*. Já para os tratamentos onde não se utilizou fósforo, as plantas que não foram inoculadas e àquelas inoculadas com *Pseudomonas SB* apresentaram maior teor de fósforo no grão em relação às plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*.

Tabela 26. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo no grão de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	3,88 aB	4,66 aA	4,02 aB
Fosfato de Arad	4,00 aB	4,65 aA	3,73 aB
Sem fósforo	3,79 aA	2,86 bB	4,03 aA
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	0,427		
P FF x Micro	<0,001		

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($P>0,05$).

A Tabela 27 mostra a análise de variância para teor de fósforo no grão e as médias para cada tratamento com o tratamento adicional (superfosfato triplo). Observa-se que o superfosfato triplo proporcionou maior teor de fósforo no grão, diferindo estatisticamente de todos os tratamentos, exceto dos tratamentos apatita + *Pseudomonas fluorescens* e fosfato de Arad + *Pseudomonas fluorescens*.

Tabela 27. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias e desvio padrão de teor de fósforo no grão de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*) e tratamento adicional (superfosfato triplo).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	3,88 \pm 0,5	4,66 \pm 0,1 a	4,02 \pm 0,3
Fosfato de Arad	4,00 \pm 0,2	4,65 \pm 0,4 a	3,73 \pm 0,3
Sem fósforo	3,79 \pm 0,5	2,86 \pm 0,3	4,03 \pm 0,2
Super triplo	4,40 \pm 0,1 a	---	---
P Fonte Fósforo	<0,001		
P Microorg.	0,427		
P FF x Micro	<0,001		
P Fat. xAdic.	<0,001		

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Dunnett ($P > 0,05$).

Segundo Cantarela, Raij e Camargo (1997), o teor adequado de fósforo no grão do milho é $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca. A aplicação de superfosfato triplo proporcionou $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ de fósforo no grão, estando acima do teor adequado. Segundo Resende et al. (2006), a aplicação de fontes de fósforo menos solúveis proporciona menores teores do elemento no grão. A inoculação das plantas com *Pseudomonas fluorescens* pode ter favorecido o aumento da disponibilidade de fósforo na solução do solo para as plantas adubadas com apatita e fosfato de Arad, aumentando a absorção e conseqüentemente o teor do elemento no grão.

4.1.12 Índice de eficiência agronômica de fosfatos

A Figura 2 mostra o índice de eficiência agronômica (IEA) dos fosfatos em cada tratamento, calculada com base na produtividade de grãos, com o superfosfato triplo como tratamento padrão (100%). A aplicação de fosfato de Arad sem inoculação proporcionou maior valor de IEA (108%), acima do superfosfato triplo. A aplicação, apesar de localizada, foi feita manualmente, proporcionando maior contato do adubo com o solo, favorecendo a liberação do fosfato.

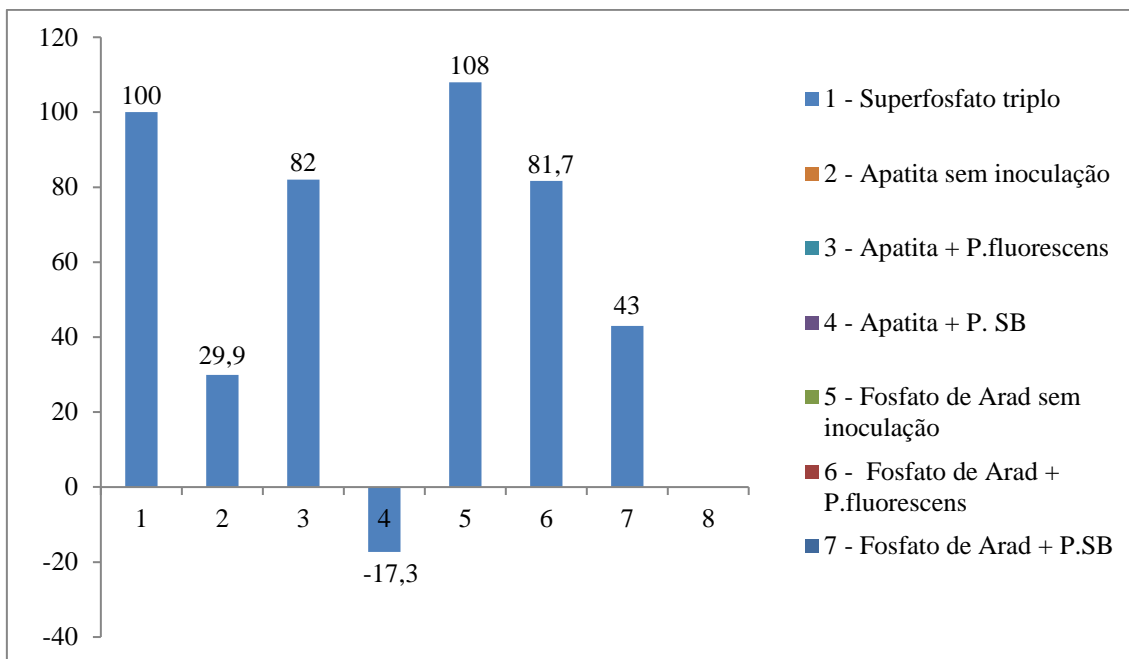


Figura 2 – Índice de eficiência agrônômica das fontes de fósforo utilizadas nos tratamentos para produtividade de grãos.

Quanto à inoculação, a associação da apatita com *Pseudomonas fluorescens* proporcionou um IEA de 82%, superior a apatita sem inoculação (29,9%). A *Pseudomonas fluorescens* pode ter aumentado a disponibilidade de fósforo para as plantas, aumentando a produtividade. Já quando se utilizou *Pseudomonas SB*, houve um decréscimo na produtividade em relação, tanto para a apatita como para o fosfato de Arad, em relação a essas duas fontes sem inoculação.

4.2 Experimento 2

4.2.1 Teor de fósforo na folha

O teor de fósforo na folha não foi afetado pelas variáveis fonte de fósforo, inoculação e interação entre as mesmas (Tabela 28). A tabela mostra que os valores de fósforo foliar variaram de 1,97g kg⁻¹ de m.s. (Fosfato de Arad associado com *Pseudomonas SB*) até 2,20g kg⁻¹ de m.s. (apatita associada com *Pseudomonas fluorescens*), ficando bem próximos dos teores considerados adequados por Cantarella, Raij e Camargo (1997) para a cultura do milho, na faixa de 2,0 a 4,0g kg⁻¹ de matéria seca.

Tabela 28. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo na folha de plantas de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	2,02	2,20	2,02
Fosfato de Arad	2,05	1,99	1,97
P Fonte Fósforo	0,4329		
P Microorg.	0,6712		
P FF x Micro	0,5884		

Korndörfer, Lara-Cabezas e Horowitz (1999) em trabalho com fosfatos naturais reativos na cultura do milho também obtiveram resultados semelhante. No mesmo trabalho, o aumento da dose proporcionou maior teor de fósforo no tecido foliar independente da fonte utilizada. Barreto e Fernandes (2002) mostraram que o aumento da dose de fósforo no solo aumentava o teor na folha de milho.

A inoculação das sementes de milho com bactérias solubilizadoras de fosfato não produziu efeito sobre o teor de fósforo nas folhas. Nahas, Fornasieri e Assis (1994) também não obtiveram efeito na absorção de fósforo pelo milho utilizando o fungo solubilizador *Aspergillus niger* sobre fosfato de rocha. Já Andreotti et al. (2008) inoculando sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens* e Baldotto et al. (2012) inoculando um substrato com suspensões bacterianas contendo bactérias fixadoras de nitrogênio e solubilizadoras de fosfato obtiveram maiores teores desses nutrientes em folhas de milho, assim como crescimento mais elevado. Chaves, Zucarelli e Oliveira Júnior (2013) utilizando fosfato de origem sedimentar não reativo também obtiveram aumento nos teores de fósforo foliar com a inoculação de sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens*.

Os resultados das análises foliares (Tabelas 29 e 30) indicam que os demais elementos estão em nível adequado para a cultura, de acordo com Cantarella, Raij e Camargo (1997). Em alguns tratamentos, o potássio, magnésio e enxofre estão abaixo do nível adequado, porém bem próximo do limite mínimo, não mostrando visualmente nenhum sintoma de carência desses elementos na planta.

Tabela 29. Teores de macronutrientes na folha de milho ($\text{g kg}^{-1}\text{m.s.}$)

Tratamentos	Macronutrientes				
	N	K	Ca	Mg	S
T01 (Apatita)	28	19	4,9	1,6	1,4
T02(Apatita+P.fluorescens)	28	20	4,6	1,4	1,6
T03(Apatita+P.SB)	29	19	4,3	1,3	1,6
T04 (Arad)	28	19	4,4	1,5	1,7
T05 (Arad+P.fluorescens)	29	19	4,4	1,3	1,4
T06 (Arad+P.SB)	28	19	4,1	1,3	1,4
Teores adequados	27-35	17-35	2,5-8,0	1,5-5,0	1,5-3,0

Tabela 30. Teores de micronutrientes na folha de milho ($\text{mg kg}^{-1}\text{m.s.}$)

Tratamentos	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T01 (Apatita)	14	16	149	58	30
T02(Apatita+P.fluorescens)	12	12	143	62	28
T03(Apatita+P.SB)	13	11	135	59	26
T04 (Arad)	11	12	142	65	26
T05 (Arad+P.fluorescens)	11	12	135	61	30
T06 (Arad+P.SB)	10	12	152	57	27
Teores adequados	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100

4.2.2 Altura da planta

Na Tabela 31 é mostrada a análise de variância para altura da planta e as médias para cada tratamento. Houve diferença significativa para as variáveis fonte de fósforo e inoculação, porém não houve interação positiva entre elas.

Tabela 31. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de altura de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>	Média
Apatita	188,7	188,8	182,8	186,8 a
Fosfato de Arad	176,8	185,1	163,3	175,1 b
Média	182,7 AB	187,0 A	173,0 B	
P Fonte Fósforo	0,0082			
P Microorg.	0,0272			
P FF x Micro	0,2778			

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram estatisticamente pelo Teste de Tukey ($P>0,05$).

A apatita proporcionou as maiores alturas de planta diferindo do fosfato de Arad. Apesar de ter menor solubilidade, a aplicação a lanço permite maior

contato das partículas com o solo, podendo favorecer a solubilização do fosfato, o que não ocorreu com o fosfato de Arad, que apesar de mais solúvel que a apatita foi aplicado de forma localizada, diminuindo a solubilização. Corrêa et al. (2005) em experimento realizado em casa de vegetação com um argissolo mostraram que quando o fosfato natural reativo é aplicado incorporado ao solo sua eficiência é semelhante aos fosfatos acidulados no aumento da produção de matéria seca na parte aérea do milho, enquanto para aplicações localizadas esse efeito não ocorre. Já Resende et al. (2006) obtiveram melhores resultados com a aplicação localizada de fosfato de Arad em relação a aplicação a lanço, porém em solo argiloso, onde a aplicação a lanço favorece a fixação do fósforo.

A inoculação com *Pseudomonas SB* proporcionou decréscimo na altura das plantas, diferindo da testemunha e da inoculação com *Pseudomonas fluorescens*. Neste caso, pode ter havido incompatibilidade da bactéria associada a estas fontes para essa característica avaliada. Chaves, Zucareli e Oliveira Júnior (2013) obtiveram efeito favorável na altura de plantas quando associaram o superfosfato triplo (fonte solúvel) com *Pseudomonas fluorescens*, porém quando a fonte de fósforo utilizada foi o fosfato de Gafsa (fonte menos solúvel) a não inoculação favoreceu a altura da planta.

4.2.3 Diâmetro do colmo

A análise de variância para diâmetro do colmo e as médias para cada tratamento são mostradas na Tabela 32. Houve diferença significativa somente para a variável inoculação, sendo que a não inoculação e a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* favoreceu o diâmetro do colmo em relação à inoculação com *Pseudomonas SB*. Oliveira (2010) avaliando o desempenho agrônômico do milho de segunda safra submetido à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* sob diferentes níveis de adubação também não obteve alterações para essa característica. Chaves, Zucareli e Oliveira Junior (2013) avaliaram diferentes fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* via semente e também não obtiveram aumento no diâmetro do colmo de plantas de milho.

Tabela 32. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de diâmetro do colmo de plantas de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	1,98	2,09	1,93
Fosfato de arad	1,96	2,06	1,81
Média	1,97 AB	2,08 A	1,87 B
P Fonte Fósforo	0,1973		
P Microorg.	0,0078		
P FF x Micro	0,6278		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram estatisticamente pelo Teste de Tukey (P>0,05).

Segundo Cruz (2013), plantas com diâmetro de colmo maior tendem a apresentarem maior comprimento e diâmetro de espigas e maior comprimento de grãos, e conseqüentemente maiores produtividades devido à capacidade cúbica de armazenamento do colmo, promovendo a remobilização de carboidratos durante as fases de desenvolvimento da espiga e enchimento de grãos.

4.2.4 Comprimento da espiga

Não houve diferença significativa no comprimento da espiga para nenhuma das variáveis e nem interação entre as mesmas (Tabela 33). A apatita e o fosfato de Arad apresentaram os mesmos valores assim como não foi constatado efeito da inoculação com *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* estando de acordo com Zucarelli et al. (2011) e Oliveira et al. (2012), que também não constataram efeito positivo no comprimento da espiga com a inoculação de sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens*.

Tabela 33. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de comprimento de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	14,75	15,25	15,05
Fosfato de Arad	15,10	15,48	14,05
P Fonte Fósforo	0,6918		
P Microorg.	0,2001		
P FF x Micro	0,2527		

Segundo Ritchie, Hanway e Benson (2003), o comprimento da

espiga é definido no estágio fenológico em que a planta de milho encontra-se com doze folhas desenvolvidas. A deficiência de nutrientes nessa fase de desenvolvimento pode reduzir seriamente o comprimento das espigas, influenciando diretamente o número de grãos por fileira.

4.2.5 Diâmetro da espiga

Não houve diferença significativa no comprimento da espiga para as variáveis fonte de fósforo, inoculação e nem interação entre as mesmas (Tabela 34).

Tabela 34. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de diâmetro de espiga de milho (cm) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	4,84	4,91	4,94
Fosfato de arad	4,90	4,94	4,84
P Fonte Fósforo	0,9197		
P Microorg.	0,7646		
P FF x Micro	0,5064		

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000) entre os estádios de desenvolvimento V8 e florescimento ocorre aumento no processo de formação da inflorescência masculina e definição do número de óvulos e tamanho da espiga. Nesta fase é importante que a planta tenha uma boa capacidade de reserva para o desenvolvimento dessas estruturas de reprodução. Normalmente as plantas mais produtivas são aquelas que possuem maior capacidade de armazenamento e translocação de reservas.

4.2.6 Número de fileiras de grãos

O resultado de análise de variância para número de fileiras de grãos encontra-se na Tabela 35, assim como a média dos valores de número de fileiras de grãos para o fator fonte de fósforo e microorganismo. Não houve diferença significativa para nenhuma das variáveis e nem interação entre elas. A inoculação não proporcionou efeitos favoráveis no número de fileira de grãos, assim como não houve interação significativa com as fontes de fósforo, estando de acordo com Oliveira (2010) e Zucarelli (2011) que

também não obtiveram efeito com a inoculação de sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens*, porém utilizando o superfosfato triplo como fonte de fósforo.

Tabela 35. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de fileiras de grãos de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	16,1	16,3	16,1
Fosfato de Arad	16,2	16,0	15,9
P Fonte Fósforo	0,5285		
P Microorg.	0,8904		
P FF x Micro	0,8298		

Segundo Fancelli (2011) é por ocasião da emissão da 7^a / 9^a folha que ocorre o início da definição do número de fileiras da espiga (ovários), o qual pode variar de 12 a 24. Deficiências nutricionais e estresse hídrico nessa fase podem comprometer essa variável de produção.

4.2.7 Número de grãos por fileira

Na Tabela 36 é mostrada a análise de variância para número de grãos por fileira. Não houve diferença significativa para as variáveis fonte de fósforo, inoculação com *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* e interação entre elas. Zucarelli et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes, mas usando superfosfato triplo como fonte de fósforo. O uso de uma fonte solúvel pode contribuir para menor resposta à inoculação, já que há fósforo disponível. Porém, mesmo utilizando fontes de menor solubilidade (fosfato de Arad e principalmente apatita), a inoculação não foi capaz de solubilizar fósforo para as plantas.

Tabela 36. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de grãos por fileira de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	33,4	33,6	33,8
Fosfato de Arad	33,1	33,9	30,8
P Fonte Fósforo	0,2041		
P Microorg.	0,2943		
P FF x Micro	0,1838		

4.2.8. Número de grãos por espiga

A Tabela 37 mostra a análise de variância para número de grãos por espiga e as médias para fontes de fósforo e inoculação. Observa-se que não houve diferença significativa para nenhuma fonte de fósforo utilizada assim como a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* não promoveu alterações significativas no número de grãos por espiga. O número de grãos por espiga tem relação direta com o número de fileira de grãos e o número de grãos por fileira. Chaves, Zucarellie Oliveira Junior (2013) também não obtiveram efeito significativo para essa característica de produtividade com a inoculação com *Pseudomonas fluorescens*.

Tabela 37. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de número de grãos por espiga de milho em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	536,5	546,5	544,8
Fosfato de Arad	535,8	542,9	490,3
P Fonte Fósforo	0,2757		
P Microorg.	0,4428		
P FF x Micro	0,3846		

4.2.9 Massa de 100 grãos

A massa de 100 grãos não foi influenciada pelas variáveis fontes de fósforo, inoculação e interação entre as mesmas (Tabela 38).

Tabela 38. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de massa de 100 grãos de milho (g) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	30,6	31,2	31,4
Fosfato de Arad	31,8	31,7	31,0
P Fonte Fósforo	0,4815		
P Microorg.	0,9538		
P FF x Micro	0,5941		

A inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB* não influenciou a massa de 100 grãos, assim como não foi constatada interação significativa das bactérias e fontes de fósforo, o que está de acordo com Chaves,

Zucarelli e Oliveira Júnior (2013), que também não obtiveram efeito significativo para essa característica com a inoculação, utilizando fosfato natural reativo e não reativo.

4.2.10 Produtividade

A produtividade não foi afetada pelas variáveis fonte de fósforo, inoculação e interação entre as mesmas (Tabela 39).

Tabela 39. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de produtividade de milho (kg ha^{-1} a 13% de umidade) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	5968,5	6593,8	6642,8
Fosfato de Arad	6431,0	6475,2	6006,8
P Fonte Fósforo	0,7419		
P Microorg.	0,6440		
P FF x Micro	0,3297		

A produtividade em torno de 6000kg ha^{-1} está na média da região para anos com condições climáticas favoráveis durante o cultivo, principalmente com chuvas bem distribuídas. Segundo Resende et al. (2006) o preparo do solo convencional permite a incorporação e mistura da apatita no solo, favorecendo a solubilização, podendo aumentar o teor de fósforo no solo, o que não ocorre em sistema de plantio direto. A aplicação localizada do fosfato de Arad, no sulco de semeadura, pode diminuir sua eficiência, provavelmente pelo aumento na concentração de Ca^{+2} e H_2PO_4^- , saturando o ambiente e restringindo a própria solubilização. Neste trabalho, apesar de localizada, a aplicação foi feita manualmente, o que favoreceu a mistura com o solo. O pH em H_2O de 5,6 também pode ter contribuído para a boa eficiência do fosfato de Arad. Segundo Souza e Lobato (2004) os fosfatos naturais de alta reatividade apresentam boa eficiência quando aplicados a lanço e incorporados em solos com pH em H_2O menor que 6,0, sendo similares aos fosfatos solúveis em água já no ano de aplicação.

Os fosfatos naturais apresentam menor eficiência no primeiro ano de aplicação quando comparado com os fosfatos solúveis, sendo que os fosfatos naturais importados (fosfato de Arad), de origem sedimentar apresentam eficiência superior aos fosfatos naturais brasileiros (apatitas), de origem ígnea. Neste caso, a forma de aplicação também influencia a sua eficiência. Segundo Raij et al. (1982), os fosfatos reativos podem

ser tão eficientes quanto os superfosfatos quando incorporados ao solo, mas em aplicação localizada sua eficiência diminui, no que concordaram Motomiya et al. (2004), que mostraram que a eficiência do fosfato natural reativo (Gafsa) é equivalente ao superfosfato triplo quando aplicado a lanço e pouco eficiente em aplicação localizada no sulco de semeadura.

4.2.11 Teor de fósforo no grão

Houve diferença estatística significativa para inoculação (tabela 40). Em plantas adubadas com apatita, a inoculação com *Pseudomonas SB* proporcionou maior teor de fósforo no grão. Já quando utilizou-se o fosfato de Arad, plantas sem inoculação e inoculadas com *Pseudomonas SB* apresentaram maior teor de fósforo no grão em relação àquelas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens*. Em plantas sem inócuo, o fosfato de Arad proporcionou maior teor de fósforo no grão em relação a apatita. Em plantas inoculadas tanto com *Pseudomonas fluorescens* como *Pseudomonas SB* não houve diferença estatística entre as fontes de fósforo utilizadas.

Tabela 40. Resumo da análise de variância com valores de P calculado para causas de variação e suas interações e médias de teor de fósforo no grão de milho (g kg^{-1} de m.s.) em função da interação de fontes de fósforo (apatita e fosfato de Arad) e inoculação (sem inoculação, *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas SB*).

	Sem Inoculação	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas SB</i>
Apatita	3,32 bB	3,83 aB	4,60 aA
Fosfato de Arad	4,47 aA	3,03 aB	4,43 aA
P Fonte Fósforo	0,8002		
P Microorg.	0,0068		
P FF x Micro	0,0128		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram estatisticamente pelo Teste de Tukey ($P>0,05$).

Os teores de fósforo no grão ficaram entre 3,03 e 4,60 g kg^{-1} sendo que o teor considerado adequado por Cantarela, Raij e Camargo (1997) é de 4,0 g kg^{-1} . Segundo Resende et al. (2006), a aplicação de fontes de fósforo menos solúveis proporciona menores teores do elemento no grão. O valor de 4,60 g kg^{-1} obtido com a apatita em plantas inoculadas com *Pseudomonas SB* pode ser devido à solubilização do fosfato, aumentando a concentração de fósforo na solução e conseqüentemente absorção pela planta.

A composição química do grão pode variar bastante por ser um órgão que se forma no final do ciclo da planta. Apesar de ser definida geneticamente, pode ser influenciada pelas condições de desenvolvimento da planta mãe, principalmente em relação à disponibilidade de nutrientes no solo. Uma adubação equilibrada pode influenciar a composição química dos grãos, melhorando a sua qualidade nutricional e vigor das sementes. Além disso, as condições de temperatura e umidade também influenciam a absorção dos nutrientes e a remobilização destes para os grãos do milho.

5 CONCLUSÃO

- A inoculação não promoveu alteração na altura da planta e diâmetro do colmo;
- A inoculação com *Pseudomonas SB* incrementou o teor de fósforo na folha quando não foi utilizada nenhuma fonte de fósforo;
- Para as variáveis de produção, a inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* proporcionou maior diâmetro da espiga e número de fileira de grãos quando associada a apatita como fonte de fósforo e maior número de grãos por espiga;
- A inoculação com *Pseudomonas fluorescens* aumentou a produtividade em relação a inoculação com *Pseudomonas SB*, porém não diferiu das plantas que não receberam inoculação;
- A associação de *Pseudomonas fluorescens* com apatita e fosfato de Arad aumentou o teor de fósforo no grão;
- Para o experimento 2, a inoculação com *Pseudomonas SB* proporcionou decréscimo na altura da planta e diâmetro do colmo em relação às plantas inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* e aumento no teor de fósforo no grão em relação às inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* e não inoculadas e adubadas com apatita.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFZAL, A.; BANO, A.; FATIMA, M. Higher soybean by inoculation with N-fixing and P-solubilizing bacteria. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 2, p. 487-495, 2010.

AKHTAR, N.; IQBAL, A.; QURESHI, M. A.; KHAN, K. H. Effect of phosphate solubilizing bacteria on the phosphorus availability and yield cotton. **Journal of Scientific Research**, v. 40, n. 1, p. 15-24, 2010.

ALAM, S.; KHALIL, S.; AYUB, N.; RASHID, M. In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) from maize rhizosphere. **International Journal of Agriculture e Biology**, v. 4, n. 4, p. 454-458, 2002.

ALCARDE, J. C.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração química para avaliação da eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 589-603.

ALIKHANI, H. A.; RASTIN-SALEH; ANTOUN, H. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils. **Plant and Soil**, v. 287, n. 1-2, p. 35-41, 2006.

ALVAREZ, V. H. et al. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 25, p. 27-32. Viçosa, 2000.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

ANDREOTTI, M.; LODO, B. N.; BASSO, F. C.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S. Avaliação da eficiência agrônômica do inoculante Rizofós contendo *Pseudomonas fluorescens* em cultivo de milho safrinha. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28, 2010, Londrina. **Anais...**Londrina: Fertibio, 2008.

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A. de; BÜLL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 145-150, 2001.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 537-562.

ARCAND, M. M.; SCHNEIDER, K. D. Plant and microbial based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 791-807, 2006.

BABANA, A. H.; ANTOUN, H. Effect of Tilemsi phosphate rock-solubilizing microorganisms on phosphorus uptake and yield of Field-grown wheat (*Triticum aestivum*, L.) in Mali. First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p. 51-58, 2007.

BALDOTTO, L. E. B.; SILVA JÚNIOR, L. G. S.; CARNELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BALDOTTO, M. A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 262-270, 2012.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 151-156, 2002.

BARROSO, C. B.; NAHAS, E. The status of soil phosphate fractions and the ability off fungi to dissolve hardly soluble phosphates. **Applied Soil Ecology**, v. 29, issue1, p. 73-83, 2005.

BARROSO, C. B.; NAHAS, E. Solubilização do fosfato de ferro em meio de cultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 529-535, 2008.

BARROSO, C.B.; OLIVEIRA, L.A. Ocorrência de bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio nas raízes de plantas na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 575-581, 2001.

BARROSO, C. B.; PEREIRA, G. T.; NAHAS, E. Solubilization of CaHPO₄ and AlPO₄ by *Aspergillus niger* in culture media with different carbon and nitrogen sources. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, p. 434-438, 2006.

BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2043-2050, 2000.

BASÃ, Y.; KAMNEV, A. A.; BASHAN-de, L. E. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 4, p. 465-479, 2013.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 1327-1350, 2012.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 639-646, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Secretária Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.

CANTARELLA, H.; RAIJ, van B.; CAMARGO, C. E. de O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.

CARNEIRO, L. F.; NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V. de; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J. do. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, 2008.

CARNEIRO, L. F.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, J. Z. L.; CURI, N.; REIS, T. H. P.; VALLE, L. A. R. do. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 483-491, 2011.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. de C.; LOVATO, P. M.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CARDOSO, I. C. M.; MARIOTTO, J. R.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; FELIPE, A. F.; NEVES, A. N. MIQUELUTTI, D. J. Resposta de milho (*Zea mays* L.) precoce à inoculação de rizobactérias em casa-de-vegetação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28, 2008, Londrina. **Anais...Londrina: Fertibio**, 2008.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, L. A. de; OLIVEIRA, A. N. de; WILLERDING, A. L. Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 359-366, 2010.

CHAVES, D. P.; ZUCARELI, C.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 57-72, 2013.

COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 243-283.

COELHO, A. M.; FRANÇA, de G. E. **Seja o doutor do seu milho**. Arquivo do Agrônomo n. 2, (2ª edição – ampliada e totalmente modificada), POTAFÓS, p. 1-9, 1995.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2014), disponível em <www.conab.gov.br>, acesso em 18 jul. 2014.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, W. A. do; SOUZA, S. K. de S.; FREIRE, F. J. SILVA, G. B. da. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 159-164, 2005.

COSME, M.; WURST, S. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobacteria, soil phosphorus and plant cytokinin deficiency change the root morphology, yield and quality of tobacco. **Soil biology and biochemistry**, v. 57, p. 436-443, 2013.

COSTA, P. B. da; BENEDUZI, A.; SOUZA, R. de; SCHOENFELD, R.; VARGAS, L. K.; PASSAGLIA, L. M. P. The effects of different fertilization conditions on bacterial plant growth promoting traits: guidelines for directed bacterial prospection and testing. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1-2, p. 267-280, 2013.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.

CRUZ, S. J. S. **Características morfofisiológicas de plantas e produtividade do milho**. 2013. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

DI SIMINE, C. D.; SAYER, J. A.; GADD, G. M. Solubilization of zinc phosphate by a strain of *Pseudomonas fluorescens* isolated from a forest soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28, n. 1, p. 87-94, 1998.

EHTESHAMI, S. M.; AGHAALIKHANI, M.; KHAVAZI, K.; CHAICHI, M. R. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on quantitative and qualitative characteristics of maize (*Zea mays* L.) under water deficient stress. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Lasani Town Faisalabad, v. 10, n. 20, p. 3585-3591, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 537-544, 2000.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L. Fenologia e fisiologia da produção e implicações práticas de manejo. In: **Milho: produção e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011, p. 1-34.

FARHAT, M. B.; FARHAT, A.; BEJAR, W.; KAMMOUN, R.; BOUCHAALA, K.; FOURATI, A.; ANTOUN, H.; BEJAR, S.; CHOUAYEKH, H. Characterization of the mineral phosphate solubilizing activity of *Serratia marcescens* CTM 50650 isolated from the phosphate mine of Gafsa. **Archives of Microbiology**, v. 191, n. 11, p. 815-824, 2009.

FERNANDEZ R, I. E.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: I - alterações químicas e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2307-2317, 2008.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Avaliação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1147-1155, 2008.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. do C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R. V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEÓN, H. M.; MENDES, F. L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1092-1099, 2009.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. dos. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e resina trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 363-371, 2005.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. dos S.; FLORES, J. P. C. F. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

GOLDSTEIN, A. H.; KRISHNARAJ, P. U. Phosphate solubilizing microorganisms vs. phosphate mobilizing microorganisms: What separates a phenotype from a trait? First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization – **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p. 203-213, 2007.

GOMES, E. A.; SILVA, U. C.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Avaliação do Potencial de Solubilização de Fosfato de Ferro in vitro por Bactérias e Fungos do Solo. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010, Goiânia: **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**. CD-Rom.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. **Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Inf. Agronômicas, POTAFÓS, n. 95, p. 1-5, 2001.

HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L. A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e álicos de Presidente Figueiredo, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 343-357, 2004.

HARVEY, P. R.; WARREN, R. A.; WAKELIN, S. Potential to improve root access to phosphorus: the role of non-symbiotic microbial inoculants in the rhizosphere. **Crop and Pasture Science**, v. 60 (2), p. 144-151, 2009, disponível em <<http://dx.doi.org/10.1071/CP08084>>.

MUNOZ HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência Agronômica dos fosfatos naturais. In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 665-687.

ILLMER, P.; SCHINNER, F. Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. **Soil biology and biochemistry**, v. 27, n. 3, p. 257-263, 1995.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria: **Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997, 31 p. (Boletim técnico n.3).

KHAN, A. A.; JILANI, G.; AKHTAR, M. S.; NAGVI, S. M. S.; RASHEED, M. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. **Journal of Agricultural and Biological Science** 1 (1) p. 48-58, 2009.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; WANI, P. A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 27, n. 1, p. 29-43, 2007.

KHAN, M. S.; AHMAD, E.; ZAIDI, A.; OVES, M. Functional Aspect of Phosphate-Solubilizing Bacteria: Importance in Crop Production. **Bacteria in Agrobiolgy: Crop Productivity**, p. 237-263, 2013.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 391-396, 1999.

KUCEY, R. M. N. Increased phosphorus uptake by wheat and field inoculated with phosphorus-solubilizing *Penicillium bilaji* strain with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 53 (12), p. 2699-2703, 1987.

KUHAD, R. C.; SINGH, S.; LATA; SINGH, A. Phosphate-Solubilizing Microorganisms. **Bioaugmentation, Biostimulation and Biocontrol**, 2011. p.65-84.

LEGGETT, M.; CRUZ, J.; HNATOWICH, G.; HOLLOWAY, G. Challenges in commercializing a phosphate-solubilizing microorganism: *Penicillium bilaiae*, a case history. **First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilizing Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p. 215-222, 2007.

LIMA, S. O.; FIDELIS, R. R.; COSTA, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 100-105, 2007.

LIN, T. F.; HUANG, H. I.; SHEN, F. T.; YOUNG, C. C.; The protons of gluconic acid are the major factor responsible for the dissolution of tricalcium phosphate by *Burkholderia cepacia* CC-AI74. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 7, p. 957-960, 2006.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P. da; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 13-34.

MAGIROI, K. W. N.; HERMANN, L.; OKALEBO, J. R.; OTHIENO, C. O. PYPERS, P.; LESUEUR, D. Occurrence and genetic diversity of phosphate-solubilizing bacteria in soils of differing chemical characteristics in Kenya. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 897-904, 2012.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. p. 104-218.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 201p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MARRA, L. M.; SOARES, C. R. F. S.; OLIVEIRA, S. M. de; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B. L.; CARVALHO, R. F. de; LIMA, J. M. de; MOREIRA, F. M. de S. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1-2, p. 289-307, 2012.

MARSCHNER, P.; CROWLEY, D.; RENGEL, Z. Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis – model and research methods. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 883-894, 2011.

MATOS, E. da S.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E. M. de A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 625-632, 2006.

MINHONI, M. T.; CARDOSO, E. J. B. N.; EIRA, A. F. Efeito de cinco tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 29-35, 1991.

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

MOTOMIYA, W. R.; AMOACY, F. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 307-312, 2004.

NAHAS, E. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas**. Jaboticabal – SP: FUNEP, 1991. 67p.

NAHAS, E. Phosphate solubilizing microorganisms: Effect of carbon, nitrogen, and phosphorus sources. **First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization**. Developments in Plant and Soil Sciences, v. 102, p. 111-115, 2007.

NAHAS, E.; FORNASIERI, D. J.; ASSIS, L. C. Resposta à inoculação de fungo solubilizador de fósforo em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3 p. 463-469, 1994.

NAIK, P. R.; RAMAN, G.; NARAYANAN, K. B.; SAKTHIVEL, N. Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil. **BMC Microbiology** 2008, 8:230. Disponível em <<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/8/230>>.

NAKAYAN, P.; HAMEED, A.; SINGH, S.; YOUNG, L. S.; HUNG, M. H.; YOUNG, C. C. Phosphate-solubilizing soil yeast *Meyerozyma guilliermondii* CC1 improves maize (*Zea mays* L.) productivity and minimizes requisite chemical fertilization. **Plant and Soil**, v. 373, n. 1-2, p. 301-315, 2013.

NASCIMENTO, B. L. M.; LIMA, I. M. A.; IWATA, B. F.; AQUINO, B. F. Altura e diâmetro do milho cultivado em função de diferentes doses de fertilizantes fosfatados. **Scientia Plena**, v. 10, n. 9, 2014.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., Eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007. 1017p.

NUNES, R. de S.; SOUZA, D. M. G. de; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in a oxisol of

the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, F. A. de; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. de F.; PEREIRA, W. E.
OLIVEIRA, J. C. de; FILHO, J. F. da C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 238-244, 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 376-385, 2011.

OLIVEIRA, M. A. **Adubação mineral e inoculação a base de *Pseudomonas fluorescens* na cultura do milho**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

OLIVEIRA, M. A. de; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, L. T.; DOMINGUES, A. R.; FERREIRA, A. S. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1040-1046, 2012.

OSORIO, N. W. Effectiveness of Phosphate Solubilizing Microorganism in Increasing Plant Phosphate Uptake and Growth in Tropical Soils. **Bacteria in Agrobiological Plant Nutrient Management**, p. 65-80, 2011.

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B de. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do Nordeste Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1179-1184, 1998.

PERUZZO, G.; WIETHÖLTER, S. Fosfato natural reativo deve ser no inverno?
EMBRAPA, Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), notícia 27 de 20 jun. 2002. Disponível em <<http://www.cnpt.embrapa.br/>>, acesso em 23 abr. 2015.

PICCINI, D.; AZCON, R. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the utilization of Bayovar rock phosphate by alfalfa plants using a sand-vermiculite medium. **Plant and Soil**, v. 101, n. 1, p. 45-50, 1987.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 83-90, 2001.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 605-663.

PROCHNOW, L. I.; QUISPE, J. F. S.; FRANCISCO, E. A. B.; BRAGA, G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 333-340, 2006.

PUENTE, M. E.; BASHAN, Y.; LI, C. Y.; LEBSKY, V. K. Microbial population and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plants. I. Root colonization and weathering of igneous rocks. **Plant Biology**, v. 6, p. 629-642, 2004.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 107-115.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284 p.

RAIJ, B. van; CABALA-ROSAND, P.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil – apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. (Ed.) **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, DID, 1982. P. 9-28.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C.A.; BOLDRIN, P. F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 335-343, 2009.

RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIM, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, 28 (9), p. 897-906, 2001.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorous availability update on microbial phosphorous. **Plant Physiology**, v. 156 (3), p. 989-996, 2011. Disponível em <[http:// dx.doi.org/10.1104/pp.111.175448](http://dx.doi.org/10.1104/pp.111.175448)>.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. Piracicaba: POTAFOS, p.1-20, 2003 (**Informações Agrônômicas, 103**).

RODRIGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17, n. 4-5, p. 319-339, 1999.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R.; GONZALEZ, T.; BASÃ, Y. Genetics of phosphate solubilization and potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. **Plant and Soil**, v. 287, n. 1-2, p. 15-21, 2006.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e tributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 953-964, 2004.

SÁ, J. C. de M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-222.

SAGERVANSI, A.; KUMARI, P.; NAGEE, A.; KUMAR, A. Media optimization for inorganic phosphate solubilizing bacteria isolated from Anand agriculture soil. **International Journal of Life science & Pharma Research**, v. 2, n. 3, p. 245-255, 2012.

SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; NOVAIS, R. F. de; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M da C. S., SILVA FILHO, J. L. da. Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo para o algodoeiro no cerrado da Bahia. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 4, p. 537-543, 2012.

SANTOS, H. P. dos; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; KOCHANN, R. A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 719-727, 2009.

SANTOS, J. R.; BICUDO, S. J.; NAKAGAWA, J.; ALBUQUERQUE, A. W. de; CARDOSO, C. L. Atributos químicos do solo e produtividade do milho afetados por corretivos e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 323-330, 2006.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 685-694, 2005.

SELVI, B. K.; RAVINDRAN, A. D. Influence of different carbon and nitrogen sources on insoluble inorganic phosphate solubilization by *Bacillus subtilis*. **International Journal of Advanced Biological Research**, v. 2, n. 3, p. 441-445, 2012.

SHANKARAIHAH, C.; HUNSIGI, G.; NAGARAJU, M. S. Effect of levels and sources of phosphorus and phosphate solubilizing microorganisms on growth, yield and quality of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 2, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

SILVA, E. C. da; FERREIRA, S. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L. de; GUIMARÃES, G. L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microorganismos isolados de cultivos de Pinus e Eucalyptus de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microorganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 311-319, 2000.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microorganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1495-1508, 2001.

SILVA, M. A. da; NÓBREGA, J. C. A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. da. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, 2003.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIN, V. O papel dos microorganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 117-156.

SOUCHIE, E. L.; ABBOUD, A. C. de S. Solubilização de fosfato por microorganismos rizosféricos de genótipos de Guandu cultivados em diferentes classes de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 11-18, 2007.

SOUCHIE, E. L.; AZCON, R.; BAREA, J. M.; SAGGIN-JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Solubilização de fosfatos em meio sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1149-1152, 2005.

SOUCHIE, E. L.; AZCON, R.; BAREA, J. M.; SAGGIN-JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Phosphate solubilization and synergism between P-solubilizing and arbuscular mycorrhizal fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1405-1411, 2006.

SOUZA, C. H. E. de; MACHADO, V. J.; PRADA NETO, I.; BENEDETTI, T. C.; LANA, R. M. Q. Extratores para fósforo disponível em latossolos e eficiência de fontes fosfatadas para milho cultivado em vaso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 1, p. 38-46, 2011.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, Potafos, 2003. 16p. (**Informações Agronômicas, 102**).

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 157-200.

SOUZA, D. M. G. de; REIN, T. A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: **anais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

SOUZA JÚNIOR, R. F.; OLIVEIRA, H. T.; SANTOS, H. C.; FREIRE, F. J.; ARRUDA, J. A. de. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 159-170, 2012.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo – Essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 1-12.

SUNDARA, B.; NATARAJAN, V.; HARI, K. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. **Field Crops Research**, v. 77, n. 1, p. 43-49, 2002.

SUPANJANI; HAN, H. S.; JUNG, J. S.; LEE, K. D. Rock phosphate-potassium and rock-solubilising bacteria as alternative, sustainable fertilisers. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 26, n. 4, p. 233-240, 2006.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. Ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

TORO, M. Phosphate solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants from tropical savannas: An adaptive strategy to acid soils? **First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p. 249-252, 2007.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos. **Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa**. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VALVERDE, A.; BURGOS, A.; FISCELLA, T.; RIVAS, R.; VELÁZQUEZ, E.; RODRÍGUEZ-BARRUECO, C.; CERVANTES, E.; CÂMARA, M.; MARIANO-IGUAL, J. Differential effects of coinoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate-solubilizing bacterium) and *Mesorhizobium ciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field condition. **Plant and Soil**, v. 287, n. 1-2, p. 43-50, 2006.

VASSILEV, N.; LÖBERMANN, B. E.; VASSILEVA, M. Stress-tolerant P-solubilizing microorganisms. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 95, n. 4, p. 851-859, 2012.

VILLEGAS, J.; FORTIN, J. A. Phosphorus solubilization and pH changes as a result of the interactions between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on a medium containing NH_4^+ as nitrogen source. **Canadian Journal of Botany**, v. 79, p. 865-870, 2001.

VITTI, G. C.; WIT, A. de; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 689-726.

VITTI, G.C.; MUÑOZ, A. I.; NILSON, C. G.; ZAVASCHI, E. Nutrição e adubação do milho. In: **Milho: produção e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011, p. 147-166.

VYAS, P.; GULATI, A. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. **BMC Microbiology** 2009, 9:174. Disponível em <<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/9/174>>.

WAKELIN, S. A.; GUPTA, V. V.; HARVEY, P. R.; RYDER, M. H. The effect of *Penicillium* fungi on plant growth and phosphorus mobilization in neutral to alkaline soils from southern Australia. **Canadian Journal of microbiology**, v. 53, n. 1, p. 106-115, 2007.

WALPOLA, B. C.; YOON, M. In vitro solubilization of inorganic phosphates by phosphate solubilizing microorganisms. **African Journal of Microbiology Research**, v.7 (27), p. 3534-3541, 2013.

WANG, Y.; HASBULLAH; SETIA, R.; MARSCHNER, P.; ZHANG, F. Potential soil P mobilisation capacity-method development and comparison of rhizosphere soil from different crops. **Plant and soil**, v. 354, n. 1-2, p. 259-267, 2012.

YAMADA, T. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. **Comunicação pessoal**, 2003.

ZAIDI, A.; KHAN, M. S.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A. Recent Advances in Plant Growth Promotion by Phosphate-Solubilizing Microbes. **Microbial Strategies for Crop Improvement**, p. 23-50, 2009.

ZANCANARO, L. Fósforo na cultura do algodão em Mato Grosso. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 285-289.

ZHENG, S. J.; YANG, J. L.; HE, X. H.; ZHANG, L.; YOU, J. F.; SHEN, R. F.; MATSUMOTO, H. Immobilization of aluminum with phosphorus in roots is associated with high aluminum resistance in buckwheat. **Plant Physiology**, v. 138, p. 297-303, 2005.

ZUCARELI, C.; CIL, I. R.; PRETE, C. E. C.; PRANDO, A. M. Eficiência agronômica da inoculação à base de *Pseudomonas fluorescens* na cultura do milho. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 13, p. 152-157, 2011.