

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
KAMILA PAIVA PENA

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SOLUBILIZAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA
COM ÁCIDO OXÁLICO

Monte Carmelo - MG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

KAMILA PAIVA PENA

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SOLUBILIZAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA
COM ÁCIDO OXÁLICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto de Oliveira
Mendes

Monte Carmelo – MG

2018

KAMILA PAIVA PENA

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SOLUBILIZAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA
COM ÁCIDO OXÁLICO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia,
Campus Monte Carmelo, da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do
grau de Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, 23 de Novembro de 2018.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gilberto de Oliveira Mendes

Orientador

Prof. Dr.^a. Cinara Xavier de Almeida

Prof. Dr. Enio Tarso de Souza Costa

Monte Carmelo - MG

2018

Dedico à Deus.

O que seria de mim sem a fé que eu tenho Nele.

AGRADECIMENTO

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante a graduação. Em especial ao professor Gilberto, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

Agradeço também a Universidade Federal de Uberlândia e todo o corpo docente, por tamanha dedicação aos alunos e pela oportunidade de realizar este curso.

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi o que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nesta caminhada.

Ao meu filho Miguel, que mesmo sendo tão pequeno compreendeu os momentos de ausência. Obrigada filho, essa vitória também é sua!

Ao Hudson, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você, tenho me sentido mais viva de verdade. Obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

Aos amigos, porque foram eles que me incentivaram e inspiraram através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades.

A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram a acreditar em mim eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido possível.

RESUMO

Uma alternativa biotecnológica para produção de fertilizantes fosfatados é o emprego de ácidos orgânicos produzidos por micro-organismos para solubilização da rocha fosfática (RF). O objetivo desse trabalho foi definir as condições ótimas de solubilização da RF de Araxá (14% P) com ácido oxálico. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Para a definição de melhor tempo de contato entre RF e ácido oxálico, adicionou-se 3 g L⁻¹ de RF e ácido oxálico, avaliando-se de 0 a 120 h. Pode-se observar que 24 h são suficientes para solubilizar 81% de P contido na RF. Em seguida, foi avaliada a concentração ideal de RF, essas variaram entre 0, 4, 8, 12 e 16 g L⁻¹ e mantendo-se a quantidade de 3 g L⁻¹ de ácido oxálico. O aumento da concentração da RF resultou em aumento da concentração de P solúvel, contudo o percentual de P que foi solubilizado a partir da RF diminuiu. O mesmo procedimento foi realizado para que se avaliasse a concentração ideal de ácido oxálico, que variou de 0, 4, 8, 12 e 16 g L⁻¹. Nesse caso, manteve-se a quantidade de 3 g L⁻¹ de RF. Os dados mostraram que não houve diferença entre as concentrações, solubilizando 69% do P. Avaliando a necessidade de agitação mecânica ou não, adicionou-se 3 g L⁻¹ de RF e ácido oxálico. Pode-se observar que quando houve a agitação foi solubilizado 76% da quantidade de P disponível.

Palavras chave: fertilizante, fósforo, ácido orgânico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. REFERENCIAL TEÓRICO	8
3.1 A importância do fósforo.....	8
3.2 Uso de micro-organismos solubilizadores de fósforo	9
3.3 Ácidos orgânicos na solubilização de rocha fosfática	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 Tempo de contato entre ácido oxálico e RF.....	11
4.2 Concentração da rocha fosfática.....	11
4.3 Concentrações de ácido oxálico.....	12
4.4 Taxa de agitação do sistema.....	12
4.5 Análises químicas.....	12
4.6 Procedimentos estatísticos.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
6. CONCLUSÕES.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um elemento essencial para as plantas. É considerado um macronutriente e, portanto, pode limitar o crescimento da planta, tendo em vista sua atuação estrutural, funcional e na transferência de energia (INUI, 2009). Porém, o P é um elemento que normalmente se encontra em baixa disponibilidade no solo, fazendo necessário o uso de adubações fosfatadas para suprir adequadamente a necessidade das culturas agrícolas, especialmente em solos brasileiros.

O uso de fertilizantes fosfatados é de grande importância para a agricultura, uma vez que a melhoria da produtividade é componente essencial de um empreendimento sustentável. Paralelamente, existe grande demanda por formas mais sustentáveis de produção de fertilizantes. Segundo Withers et al. (2015), isso se deve ao iminente esgotamento de reservas naturais de P de melhor qualidade, enfatizando a necessidade de se desenvolver técnicas que viabilizem a exploração de rochas fosfáticas (RF) com menor conteúdo de P, no intuito de diminuir o uso e otimizar o aproveitamento de fertilizantes fosfatados solúveis na agricultura.

Uma dessas alternativas para aumentar a disponibilidade do P é a utilização de micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF). Esses micro-organismos produzem ácidos orgânicos que atuam na solubilização de minerais fosfatados por meio de acidólise ou por quelatção dos cátions, o que faz liberar fosfatos solúveis (MENDES, et al. 2014). Esses ácidos podem ser empregados como alternativa biotecnológica para produção de fertilizantes por meio da solubilização de RF. O Brasil poderia se beneficiar desse processo, pois possui grande quantidade de reservas de P de baixa reatividade. Pesquisas mostraram que o ácido oxálico é promissor para esse fim, pelo fato de ter apresentado níveis elevados de solubilização de RF (KPOMBLEKOU, et al. 1994).

Outra vantagem de fertilizantes biotecnológicos, é que esses podem apresentar menor toxicidade ao ambiente, já que não se utilizam os ácidos fortes empregados no processo industrial. O uso de MSF na solubilização de RF pode também favorecer a agricultura familiar, pelo fato de que o preço do produto gerado poderia ser acessível aos pequenos produtores, visto que os fertilizantes convencionais apresentam valores elevados.

2. OBJETIVOS

Otimizar o processo de solubilização de rocha fosfática (RF) com ácido oxálico. Definir as concentrações ótimas de RF e de ácido oxálico, o tempo de contato entre a RF e o ácido oxálico e a taxa de agitação do sistema.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A importância do fósforo

O P faz parte de biomoléculas de grande importância como ácidos nucleicos e fosfolípidios, responsáveis pelo desenvolvimento das plantas. Porém, ele é encontrado no solo, em formas pouco disponíveis para as plantas. Sendo assim, para que se obtenha grandes produtividades, faz-se necessário o uso de adubações fosfatadas, realizadas com fontes de P solúveis. Para realizar essas aplicações deve-se levar em consideração que cerca de 80% do P torna-se indisponível após a sua introdução no solo. Para minimizar os efeitos dessa perda, são aplicadas doses maiores do que as indicadas para cada cultura (BRAGA et al. 1991; CEKINSKI, 1990).

No solo, o P está em equilíbrio dinâmico entre as fases líquida e sólida. Reações de sorção e precipitação com os oxi-hidróxidos de Fe e Al, com o Ca, com a matéria orgânica, reduzem a concentração de P livre na solução de solo. Quando o conteúdo de água no solo é baixo e baixa concentração de P na solução, a quantidade de P prontamente disponível para as plantas é muito pequena, havendo a necessidade de solubilização de P da fase sólida para a solução para que dessa forma consiga suprir as necessidades das culturas sejam supridas. Essa disponibilização de P da fase sólida depende do pH, do teor de óxidos e de outros fatores que alteram o equilíbrio P-sólido/P-solução (PAVINATO et al. 2008). Em solos ácidos, o P está passível à precipitação com Al^{3+} e Fe^{3+} , e em solos alcalinos o P está exposto à precipitação com Ca^{2+} . Esses mecanismos fazem com que o solo atue como dreno de P, competindo com

as plantas por esse elemento (NOVAIS E SMITH, 1999; FONTES E WEED, 1996; WHITELOW, 1999).

Em solos tropicais ácidos, a mudança do pH na rizosfera e a produção de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de adsorção fazem com que o P seja liberado para a solução, por meio da quelação de oxi-hidróxidos de Fe e Al, aumentando, assim, a solubilidade de P no solo. Dentre os ácidos orgânicos mais ativos à disponibilização de P, estão: cítrico, oxálico, glucônico, láctico e málico. Os ácidos húmicos e fúlvicos, compostos mais estáveis e de longa persistência da fração orgânica do solo, também podem competir pelos sítios de adsorção, e disponibilizar alguns nutrientes aniônicos. O ácido carbônico que se forma a partir do CO₂ proveniente da respiração microbiana e radicular, ainda que não seja um ácido orgânico, atua de forma similar, especialmente em relação aos fosfatos de cálcio no solo (PAVINATO, 2008.)

3.2 Uso de micro-organismos solubilizadores de fósforo

Para melhorar a eficiência das fontes de P, uma alternativa é utilizar os MSF (GOLDSTEIN, 1986; KIM et al., 1998; RODRIGUEZ e FRAGA, 1999). Esses micro-organismos têm papel fundamental na liberação de formas inorgânicas de fosfato (Ca-P, Al-P e Fe-P), fazendo com que aumente o teor de P em solução, o que irá proporcionar melhor crescimento e maior rendimento das culturas.

Para se utilizar MSF, tem-se sugerido vários sistemas. A maioria dos estudos *in vitro* tem sido realizada em sistemas de fermentação líquida (FL) ou em estado sólido (FES), onde os MSF são colocados em contato com fosfatos insolúveis tendo carboidratos como fontes de energia. O produto dessa fermentação é utilizado como fertilizante, fornecendo assim P prontamente assimilável para as plantas (VASSILEV et al., 1996; VASSILEV et al., 2006).

Alguns estudos realizados demonstram a nítida relação existente entre o aumento da concentração de fosfatos solúveis com o simultâneo aumento da produção de ácidos, sendo eles orgânicos ou inorgânicos; o que permite concluir que, quanto maior a presença desses ácidos, maior a quantidade de fosfatos solúveis (REDDY et al. 2002; SHIBATA et al. 2003; SINGH et al.1998). Os fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são relatados na literatura

como solubilizadores de P, liberando ácidos orgânicos, entre eles o ácido oxálico (KHAN et al., 2010).

3.3 Ácidos orgânicos na solubilização de rocha fosfática

A solubilização de minerais por ácidos orgânicos ocorre por meio da acidólise, provocada por prótons liberados de grupos carboxila, e da complexação dos metais presentes na estrutura do mineral. A capacidade de complexação de um ácido depende do número e da posição da carboxila e hidroxila, além de depender da constante de estabilidade do complexo ácido orgânico-metal, da concentração e do tipo de metal em solução, e do pH da solução (FOMINA et al, 2005; FOX et al, 1990; FONTES WEED, 1996; KPOMBLEKOU TABATABAI, 1994; JONES, 1998; BOLAN et al. 1994). Para Kpomblekou-A e Tabatabai (2003) os ácidos orgânicos desenvolvem uma importante função na dissolução, transporte e concentração de elementos na superfície da Terra.

Dentre os ácidos orgânicos produzidos por MSF, o ácido oxálico destaca-se pelo alto potencial de solubilização de P de RF ou de partículas do solo (FOX et al., 1990; KPOMBLEKOU-A; TABATABAI, 1994).

Experiências realizadas por Bolan et al. (1994) constaram da aplicação de vários ácidos orgânicos de ocorrência normal em solos, tais como málico, láctico, fórmico, acético, oxálico, tartárico e cítrico, a amostras de solos de diferentes composições mineralógicas e teores de carbono diversos, testando a solubilização de P. Esses autores verificaram que a adsorção de P decresce em presença dos ácidos, ocorrendo simultaneamente um aumento da solubilização do fosfato monocálcico ou RF. Ao mesmo tempo, foi observado que a eficiência agrônômica em presença dos ácidos orgânicos foi maior quando empregada a RF do que com o fosfato monocálcico. Os autores concluem que os ácidos orgânicos aumentam a disponibilidade de P nos solos principalmente através da redução da adsorção e aumento na solubilização dos compostos de P.

Schneider et al. (2010) mediram a eficiência de mobilização de P em tratamentos biológicos com *Aspergillus niger* cultivados em presença de RF. Além do ácido cítrico, foi sugerido que o ácido oxálico contribui para a solubilização de RF em cultivo direto com A.

niger. O ácido oxálico é produzido por vários fungos, incluindo os basidiomicetos causadores de podridão branca e marrom, micorrizas, fitopatógenos e *A. niger* (MAGNUSON; LASURE, 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

As condições de solubilização de RF de Araxá (14% P) com ácido oxálico foram avaliadas em tubos tipo falcon de 50 mL contendo 25 ml de água destilada. Os seguintes fatores foram estudados:

4.1 Tempo de contato entre ácido oxálico e RF

A primeira etapa do experimento constituiu em estudar o fator tempo de contato entre o ácido oxálico e a RF. A solução de ácido oxálico foi preparada em água destilada à concentração de 3 g L⁻¹. O experimento foi realizado em tubos de 50 mL, que receberam 75 mg de RF e 25 mL da solução de ácido oxálico. Também foram realizados dois controles, em que um tratamento recebeu somente a solução de ácido oxálico e outro recebeu somente rocha fosfática com água destilada. As amostras foram incubadas à temperatura ambiente e agitadas manualmente durante 1 min a cada dia. Amostras destrutivas foram coletadas nos seguintes tempos de avaliação: 1, 24, 48, 72, 96 e 120 h. Nos dias seguintes, o procedimento foi repetido até que se completasse 120 h de incubação. O tempo zero correspondeu à quantidade de P solúvel obtida no controle em que foi adicionado apenas RF.

4.2 Concentração da rocha fosfática

A segunda etapa do experimento consistiu em determinar a concentração ideal de RF. A concentração de ácido oxálico foi fixada em 3 g L^{-1} . A RF foi adicionada aos tubos contendo 25 mL de ácido oxálico nas concentrações de 0, 4, 8, 12 e 16 g L^{-1} . Os tubos foram incubados por 24 h à temperatura ambiente, sendo agitados manualmente por 1 min no momento anterior à coleta da amostra.

4.3 Concentrações de ácido oxálico

A avaliação foi realizada em tubos com RF à concentração fixa de 3 g L^{-1} e 25 mL de solução de ácido oxálico às concentrações 0, 4, 8, 12 e 16 g L^{-1} . Os tubos foram incubados por 24 h à temperatura ambiente, sendo agitados manualmente por 1 min no momento anterior à coleta da amostra.

4.4 Taxa de agitação do sistema

Nesse experimento avaliou-se o efeito de agitação mecânica de forma constante sobre a solubilização da RF com ácido oxálico. Foram realizados dois ensaios: 1) agitação a 115 rpm por 14 h em agitador orbital, seguida de repouso por 10 h; 2) agitação manual por 1 minuto, seguida de repouso por 24 h. Todos os tubos receberam a mesma quantidade de ácido oxálico e RF, 3 g L^{-1} de cada, em 25 mL de água destilada.

4.5 Análises químicas

Após o período de incubação, o meio de solubilização foi filtrado através de papel de filtro quantitativo (poros de 25 μm) e armazenado em freezer para posterior análise. A concentração de P foi analisada utilizando-se o método colorimétrico do complexo fosfomolibdico (BRAGA; DEFELIPO, 1974).

4.6 Procedimentos estatísticos

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incubação por 24 h foi suficiente para que fosse solubilizado o máximo de P a partir da RF de Araxá, atingindo, em média, 340 mg L^{-1} de P solúvel (Figura 1). Essa quantidade equivale à disponibilização de 81,5% do P presente na rocha. Esse resultado demonstra que em pouco tempo de contato entre a RF e o ácido oxálico garante-se a solubilização de P. Após as 24 h de contato entre a RF e o ácido oxálico a quantidade de P solubilizado praticamente se estabiliza até as 120 h testadas no experimento.

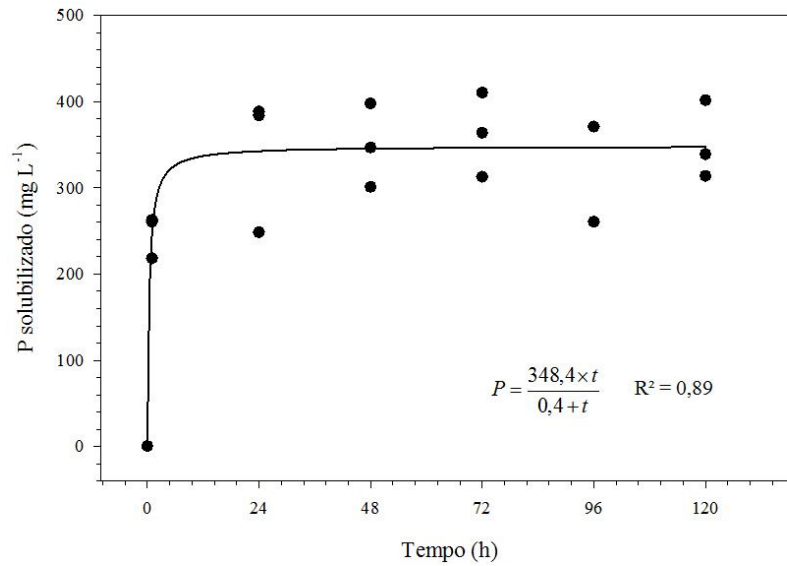


Figura 2: Efeito do tempo sobre a reação de solubilização da rocha fosfática com o ácido oxálico.

Na avaliação do efeito da concentração da RF, verificou-se que o aumento da concentração da RF resultou em incremento na quantidade de P solúvel, alcançando até 645 mg L⁻¹ de P com 16 g L⁻¹ de RF (Figura 2a). Entretanto, acima de 8 g L⁻¹ de RF, os incrementos em P solúvel foram pequenos. Por outro lado, o percentual do P contido na RF que foi solubilizado reduziu com o aumento da concentração da RF, caindo de 88 para 29% quando 4 e 16 g L⁻¹ da RF foram testados, respectivamente (Figura 3b). Dessa forma, o aumento da concentração da RF resultou em diminuição da eficiência do processo.

Observa-se que a menor concentração (4 g L⁻¹) da RF é mais eficiente no processo de solubilização de P, disponibilizando prontamente grande quantidade de P solúvel. Dessa forma, não é vantajoso aumentar a concentração da RF, mesmo com o aumento da concentração P solúvel, já que menores teores de P da RF serão disponibilizados.

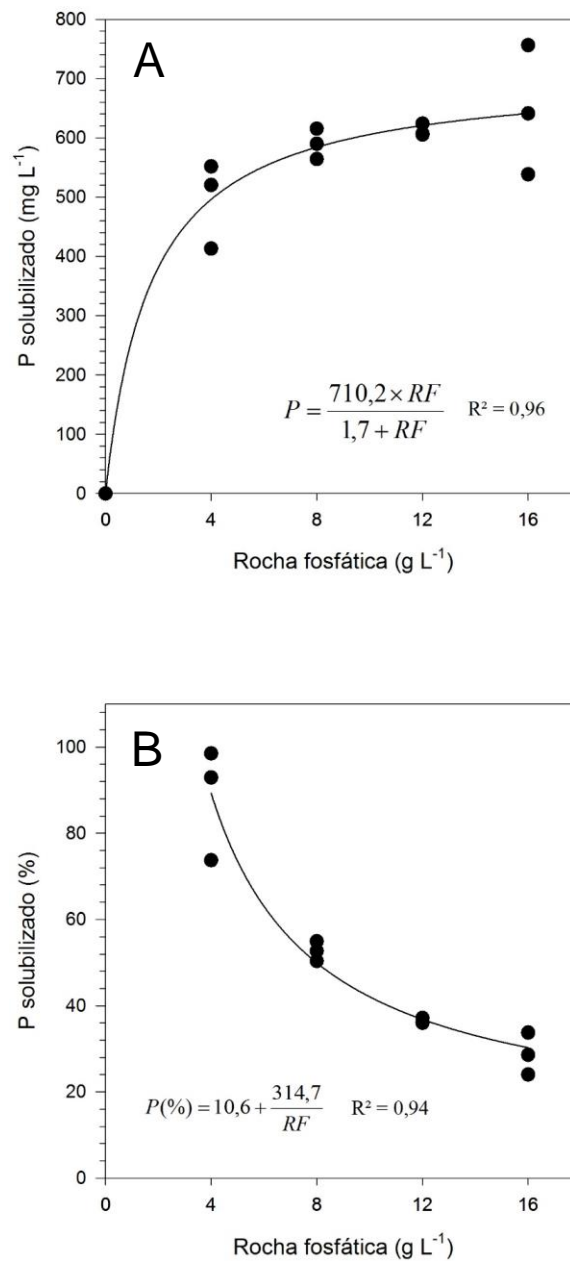


Figura 3: Solubilização de fósforo com solução de ácido oxálico a 3 g L⁻¹ em função da concentração de rocha fosfática. (a) Concentração de P solúvel. (b) Percentual do P contido na rocha fosfática que foi solubilizado.

A avaliação da concentração ideal de ácido oxálico mostrou que não houve diferença entre os tratamentos, sendo solubilizado, em média, 289 mg L⁻¹ de P. Contudo, vale ressaltar que a concentração de RF foi fixada em 3 g L⁻¹. Em concentrações mais altas da RF, é provável que haja resposta ao aumento da concentração do ácido oxálico. Além disso, notou-

se que durante a incubação da mistura, a RF se depositou no fundo dos tubos, podendo ter restringido o contato com o ácido e, assim, limitando o processo de solubilização de P.

Ao avaliar se seria necessário ou não manter agitação mecânica durante a incubação, pode-se observar que o meio ao ser agitado durante 14 h apresentou concentração de 323 mg L de P solúvel, ou seja, 76% da quantidade de P disponibilizado a partir da RF. Em relação ao meio que foi mantido estático durante 24 h, observou-se solubilização média de 59% de P (Figura 4). A diferença é estatisticamente significativa, indicando que a agitação do meio melhora o contato da RF com o ácido, resultando em incremento de 29% de eficiência no processo.

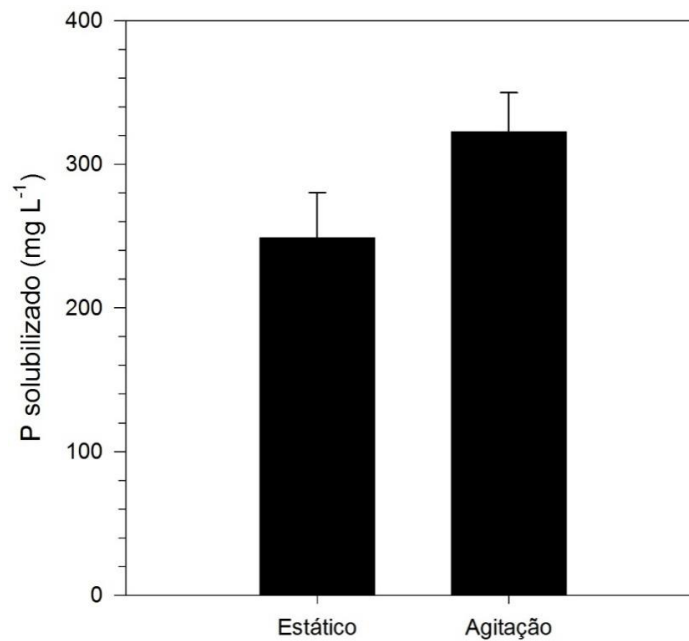


Figura 4: Efeito da agitação sobre a solubilização de RF de Araxá com ácido oxálico, ambos à concentração de 3 g L⁻¹. Os tratamentos são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Barras de erros indicam o desvio padrão da média ($n = 3$).

6. CONCLUSÕES

A reação de solubilização de RF com ácido oxálico se estabiliza em aproximadamente 24 horas, não sendo observado incremento na concentração de P solubilizado após esse período.

O aumento da concentração da RF resulta em diminuição da eficiência do processo, pois, apesar do aumento na quantidade de P solúvel com concentração maior de RF, o percentual de P solubilizado reduz com o aumento da concentração da RF.

A variação da concentração do ácido oxálico não mostrou diferença significativa na solubilização da RF à concentração de 3 g L⁻¹.

A agitação contínua da mistura de RF e ácido oxálico potencializa a solubilização do P.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. S. **Identificação e caracterização de genes de transportadores de fosfato em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba, Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 90 p. Universidade de São Paulo. 2002.

BANGAR, K. C.; YADAV, K. S.; MISHRA, M. M. Transformation of rock phosphate during composting and the effect of humic acid. **Plant and Soil**, (85): 259-266. 1985.

BOLAN, N. S.; NAIDU, R.; MAHIMAIRAJA, S.; BASKARAN, S. Influence of low molecular-weight-organic acids on the solubilization of phosphates. **Biology Fertility Soils** 18:311-319.1994.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, 21:73-85, 1974.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B. Van; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.153:315-319, 1991.

BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: Solubilização Biológica de Rocha Fosfática na Produção de Fertilizante Organomineral. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 115-122. Vol. 6. 2001.

CARAMORI, T. B. A. **Acúmulo de fósforo e crescimento de Tanzânia-1 em função de níveis de fósforo e calagem, em dois latossolos de Dourados-MS**. Dissertação de Mestrado. Dourados, 62 p. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2000.

CEKINSKI, E. **Fertilizantes Fosfatados**. In: CEKINSKI, E. (coord.). Tecnologia de Produção de Fertilizantes. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, p.35-130, 1990.

FOMINA, M.; HILLIER, S.; CHARNOCK, J. M.; MELVILLE, K.; ALEXANDER, I. J.; GADD, G. M. 2005. Role of oxalic acid over excretion in transformations of toxic metal minerals by *Beauveria caledonica*. **Applied and Environmental Microbiology**, 71:371-381.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, p.72: 37-51. 1996.

FOX, T. R.; COMERFORD, N. B.; MCFEE, W. W. Phosphorus and aluminum release from a spodic horizon mediated by organic acids. **Soil Science Society of America**. 54:1763-1767.1990.

GOLDSTEIN, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. **American Journal of Alternative Agriculture**, 1:51-57, 1986.

INUI, R. N. **Isolamento e identificação de bactérias solubilizadoras de fósforo e produtoras de auxinas em solo com cana-de-açúcar**. Jaboticabal, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal – UNESP, 78 p.2009.

JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere- a critical review. **Plant and Soil**, 205:25-44. 1998.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. **Archives of Agronomy and Soil Science**, V. 56, n. 1, Fev. 73–98 p. 2010,

KIM, K. Y.; JORDAN, D.; McDONALD, G. A. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. **Biology and Fertility of Soils**, 26:79-87, 1998.

KPOMBLEKOU, A. K.; TABATABAI, M. A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. **Soil Science**. p. 158:442-453, 1994.

KPOMBLEKOU, A. K.; TABATABAI, M. A. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus release and phyto availability of phosphorus in phosphate rocks added to soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.100, p.275-284, 2003.

MAGNUSON, J. K.; LASURE L. L. Organic acid production by filamentous fungi. In: TKACZ, J.S. e LANGEL. (eds) **Advances in fungal biotechnology for industry, agriculture, and medicine**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp 307-340, 2004.

MENDES, G. O. et al. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. **Annals of Microbiology**, v. 64, n. 1, p. 239–249, 2014.

NOVAIS, R. F; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 1ed. Editora UFV, Viçosa. 1999.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PINEDA, M. E. B. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. **Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria**. 15(1) 101-113. 2014.

REDDY, M. S.; KUMAR, S.; BABITA, K. Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*. **Bioresource Technology**. 84, 187-18. 2002.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnol Advances**, 17:319-339, 1999.

SCHNEIDER, K. D.; VAN STRAATEN, P.; DE ORDUÑA, R. M.; GLASAUER, S.; TREVORS, J.; FALLOW, D.; SMITH, P. S. Comparing phosphorus mobilization

strategies using *Aspergillus niger* for the mineral dissolution of three phosphate rocks. **Journal of Applied Microbiology**, v.108 (1), p. 366-374, 2010.

SHIBATA, R.; YANO, K. Phosphorus acquisition from non-labile sources in peanut and pigeonpea with mycorrhizal interaction. **Applied Soil Ecology** 24, 133-141. 2003.

SINGH, C. P., AMBERGER, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw composted with rock phosphate. **Bioresource Technology** 63. 1998.

VASSILEV, N.; FRANCO, I.; VASSILEVA, M.; AZCON, R. Improved plant growth with rock phosphate solubilized by *Aspergillus niger* grown on sugar-beet waste. **Bioresource Technology**, 55:237-241, 1996.

VASSILEV, N.; MEDINA, A.; AZCON, R.; VASSILEVA, M. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Plant Soil**, 287:77-84, 2006.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**. 69:99-151. 1999

WITHERS, P. J. A. *et al.* Greening the global phosphorus cycle: How green chemistry can help achieve planetary P sustainability. **Green Chemistry**, v. 17, n. 4, p. 2087–2099, 2015.