

DISSOLUÇÃO DE TRÊS FOSFATOS NATURAIS ATRAVÉS
DA ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DA OXIDAÇÃO DO
ENXOFRE

MARIA LUIZA COLOGNESI DE OLIVEIRA LOMBARDI

Orientadora: ELKE J. B. NOGUEIRA CARDOSO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
- 1981 -

Ao meu esposo Francisco e
ao meu filho Leonardo
dedico

AGRADECIMENTOS

À Dra. Elke J.B. Nogueira Cardoso, pela orientação, compreensão e apoio.

Ao Dr. Eli S. Lopes, pela colaboração, apoio e sugestões.

Ao Dr. Bernardo Van Raij pelo atendimento a várias solicitações.

Ao Dr. Ruter Hiroce pelas análises químicas.

Ao Dr. Toshio Igue, pela orientação na análise estatística.

À Dra. Angela M.C. Furlani, pela correção do resumo em inglês.

Aos funcionários da Seção de Microbiologia do Solo.

Ao Instituto Agronômico de Campinas pela oportunidade e facilidades concedidas.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela nossa formação acadêmica e profissional.

À FINEP pelos recursos fornecidos ao projeto "Avaliação Agronômica de Fosfatos Naturais Brasileiros".

A todos aqueles que direta ou indiretamente co laboraram para a realização deste trabalho, expressamos nossos sinceros agradecimentos.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. O fósforo no solo	6
2.2. Dissolução de fosfatos naturais por microrganismos produtores de ácidos orgânicos	9
2.3. Dissolução de fosfatos naturais por microrganismos produtores de ácidos inorgânicos	19
2.4. O capim-colonião (<i>Panicum maximum</i> , Jacq.) e exigências nutricionais referentes ao fósforo	24
3. MATERIAIS E MÉTODO	26
3.1. Solo	26
3.1.1. Análise química	27
3.1.2. Análise granulométrica	27
3.2. Preparo do solo, calagem e adubação básica	27
3.3. Tratamentos e delineamento estatístico	28
3.3.1. Fosfatos naturais	28
3.3.2. Enxofre	29
3.3.3. Misturas de fosfatos + enxofre	29
3.4. Plantio	30
3.5. Inoculação	30
3.6. Condução	31

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Experimento com o superfosfato triplo	32
4.2. Experimento com os fosfatos naturais	40
4.3. Equivalente em superfosfato triplo	46
5. CONCLUSÕES	51
6. LITERATURA CITADA	52

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>página</u>
1. Produção de matéria seca, número de perfilhos e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio, absorvidas pela parte aérea do capim-colonião. Resultados referentes aos tratamentos com o superfosfato triplo	33
2. Produção de matéria seca, número de perfilhos e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio, absorvidas pela parte aérea do capim-colonião. Resultados referentes aos tratamentos com os fosfatos naturais, em ausência e em presença do enxofre	42
3. Valores do teste F obtidos pela análise dos efeitos do enxofre, das doses e da interação enxofre x dose, na produção de matéria seca, número de perfilhos e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio na parte aérea do capim-colonião	45
4. Equivalente em superfosfato triplo, dos fosfatos naturais adicionados ao solo em ausência e presença do enxofre, expresso como eficiência relativa	50

Tabela

página

5. Valores do pH das amostras do solo, retiradas dos vasos após 105 dias de cultivo com capim-colonião. Resultados referentes aos tratamentos com superfosfato triplo	47
6. Valores do pH das amostras do solo, retiradas dos vasos após 105 dias de cultivo com capim-colonião. Resultados referentes aos tratamentos com fosfatos naturais em ausência e em presença do enxofre	48

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>página</u>
1. Comportamento teórico de um fosfato solúvel e de um fosfato de baixa solubilidade, adicionados ao solo em quantidades iguais e ao mesmo tempo. . .	10
2. Correlação entre produção de matéria seca do capim-colonião e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo	35
3. Correlação entre número de perfilhos do capim-colonião e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo	36
4. Correlação entre quantidades de fósforo absorvidas pela parte aérea do capim-colonião e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo . .	37
5. Correlação entre quantidades de enxofre absorvidas pela parte aérea do capim-colonião e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo . .	38
6. Correlação entre quantidades de nitrogênio absorvidas pela parte aérea do capim-colonião e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo .	39

DISSOLUÇÃO DE TRÊS FOSFATOS NATURAIS
ATRAVÉS DA ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA
DA OXIDAÇÃO DO ENXOFRE

Autora: MARIA LUIZA COLOGNESI DE OLIVEIRA LOMBARDI

Orientadora: Dra. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso

RESUMO

Conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação, em vasos, num Latossolo Vermelho Amarelo argiloso (Typic Haplortox), com três fosfatos naturais. A dissolução do fósforo através da atividade microbiológica da oxidação do enxofre foi avaliada pela produção de matéria seca e das quantidades de fósforo absorvidas pela parte aérea do capim-colonião (*Panicum maximum*, Jacq.), cultivado em solo tratado com três fosfatos naturais e em ausência e presença de enxofre elementar.

Os fosfatos catalão, alvorada e hiperfosfato (Gafsa) foram utilizados em três níveis: 100, 150 e 200 mg de P_2O_5 /kg de solo. Paralelamente, estudaram-se as respostas da planta ao fósforo em tratamentos com cinco níveis de superfosfato triplo (0, 50, 100, 150 e 200 mg de P_2O_5 /kg de solo).

Os tratamentos com os fosfatos naturais em ausência e presença de enxofre foram distribuídos num esquema estatístico fatorial $3^2 \times 2$, com três repetições de cada tratamento. Os vasos foram distribuídos na casa-de-vegetação de maneira inteiramente casualizada.

Foram obtidos elevados coeficientes de correlação entre produção de matéria seca, quantidades de fósforo na parte aérea e níveis de fósforo adicionados ao solo como superfosfato triplo.

As respostas da planta aos fosfatos naturais em presença de enxofre foram melhores com o fosfato alvorada. Nos tratamentos com o nível de 200 mg de P_2O_5 /kg de solo, a adição do enxofre melhorou a eficiência desse fosfato em 110,63% para produção de matéria seca e em 88,82% para quantidades de fósforo na parte aérea, quando comparado com a eficiência do superfosfato triplo na dose de 100 mg de P_2O_5 /kg de solo.

Com o fosfato catalão, as plantas não tiveram bom desenvolvimento, com exceção do nível de 200 mg de P_2O_5 /kg de solo em presença do enxofre. Porém, esse resultado não foi estatisticamente significativo.

Com o hiperfosfato, os resultados em ausência e presença de enxofre foram melhores do que com o catalão e o alvorada. Por ser um fosfato natural de eficiência relativa-

mente boa, ele reagiu menos que o alvorada à adição do enxofre.

Em todos os casos, a adição do enxofre aos fos fatos naturais resultou em melhor desenvolvimento das plan tas, indicando que a oxidação microbiológica do enxofre aumen ta a dissolução do fosfato natural.

DISSOLUTION OF THREE ROCK-PHOSPHATES
IN SOIL BY THE SULFUR OXIDATION
MICROBIOLOGICAL ACTIVITY

Author: MARIA LUIZA COLOGNESE DE OLIVEIRA LOMBARDI

Adviser: Dra. Elke Jurandý Bran Nogueira Cardoso

SUMMARY

A pot experiment was carried out in a Red Yellow Latosol (Typic Haplortox), with three rock-phosphates, in a greenhouse. Phosphorus dissolution by sulfur oxidation microbiological activity was evaluated by growing a forage grass (*Panicum maximum*, Jacq.) in the soil with the rock-phosphates, treated with and without elemental sulfur. Plant dry matter yield and phosphorus content in shoots were determined for all treatments. "Catalão", "alvorada" and "Gafsa" rock-phosphate were used at three levels: 100, 150 and 200 mg P_2O_5 /kg of soil. At the same time, plant responses to five levels of triple superphosphate (0, 50, 100, and 200 mg P_2O_5 /kg of soil), were evaluated.

The treatments with rock-phosphates with and without sulfur, were arranged in a completely randomized

design, in a $3^2 \times 2$ factorial, with 3 replications.

High correlation coefficients were observed for the shoot dry weight, phosphorus content and the phosphorus added to the soil, for the plants treated with triple superphosphate.

Plant responses to the sulfur addition to the rock-phosphates, were best with the "alvorada" rock-phosphate. At the level of 200 mg P_2O_5 /kg of soil, the sulfur addition improved the "alvorada" rock-phosphate efficiency of 110.63% relative to shoot dry matter, and of 88.82% relative to phosphorus content, when compared with the triple superphosphate efficiency at the level of 100 mg P_2O_5 /kg of soil.

With the "catalão" rock-phosphate, plants didn't have good growth, except at the high level in mixture with sulfur, but this result was not statistically significant.

With the "Gafsa" rock-phosphate, the results with and without sulfur were better than those obtained with the "alvorada" and "catalão" rock-phosphate. Because this rock-phosphate was good without sulfur, it reacted less than "alvorada" rock-phosphate, to sulfur addition.

In all cases, the sulfur addition resulted in

better plant growth, indicating that the sulfur oxidation by microbiological activity improved the phosphorus dissolution and consequently the rock-phosphate efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A grande expansão da agricultura brasileira atinge áreas com solos de baixa fertilidade, ácidos e deficientes em fósforo. A utilização racional das áreas submetidas à agricultura intensiva requer um consumo de grandes quantidades de fertilizantes, associado ao manejo adequado do solo.

O fósforo, embora exigido pelas culturas em quantidades menores que o nitrogênio e o potássio, é o elemento que mais limita a produção em nossas condições. A eficiência das adubações fosfatadas depende de fatores ligados às características do solo, das plantas e do próprio fertilizante.

Os fatores referentes ao solo dizem respeito ao pH e às quantidades de ferro e alumínio na superfície dos minerais presentes, os quais são responsáveis pela retenção

do fósforo pelo solo. Conseqüentemente, os solos argilosos, ácidos e com teores elevados de óxidos de ferro e alumínio, necessitam de maiores quantidades de adubos fosfatados em relação aos solos arenosos (VOLKWEISS e RAIJ, 1976).

Quanto às plantas, sabe-se que diferentes espécies possuem diferentes capacidades de absorção do fósforo dos fosfatos naturais e sobrevivem em solos com baixos teores de fósforo disponível. DRAKE e STECKEL (1955), estudando diversas plantas, gramíneas e leguminosas, observaram que a absorção do fósforo, de um fosfato natural aumentou com a capacidade de troca das raízes e sugeriram dois mecanismos responsáveis: plantas que utilizam melhor o fósforo do solo ou do fertilizante têm maior afinidade pelo cálcio do solo; ânions orgânicos, produzidos durante a decomposição das raízes, complexam o ferro e o alumínio, solubilizando os fosfatos desses últimos minerais. RAIJ e DIEST (1979) mostraram que o grau de utilização de fosfatos pouco solúveis pelas plantas é determinado em grande parte pelas características nutricionais da espécie. Assim, plantas com padrão alcalino de absorção, isto é, plantas que possuem maior afinidade por cátions, são capazes de aproveitar melhor os fosfatos naturais, em virtude do efeito ácido que exercem sobre sua rizosfera.

Os fatores ligados ao fertilizante referem-se à sua solubilidade. Os fertilizantes fosfatados de maior eficiência são aqueles em que o fósforo se encontra na forma so-

lúvel em água, prontamente assimilável pelas plantas. Esses fertilizantes são obtidos pelo tratamento de fosfatos naturais com ácidos sulfúrico e/ou fosfórico e, também, por neutralização do ácido fosfórico pela amônia, como no caso dos fosfatos de amônio (MALAVOLTA *et alii*, 1976).

O emprego dos fosfatos naturais como fornecedores de fósforo às plantas é bastante limitado devido à baixa solubilidade, sendo, portanto, utilizados como matéria prima pelas indústrias de fertilizantes. A fosfatagem, a qual consiste em adubações pesadas com fosfatos naturais, é praticada em algumas regiões, com o objetivo de elevar o teor de fósforo no solo, pelo seu efeito lento e residual.

A possibilidade de aplicação direta dos fosfatos naturais tem sido bastante estudada, mas a eficiência desses minerais é baixa, principalmente para culturas de ciclo curto (FEITOSA *et alii*, 1978; BRAGA *et alii*, 1980).

A acidificação parcial da rocha fosfatada com ácidos fortes é um método químico que vem sendo sugerido como um meio de melhorar a eficiência dos fosfatos naturais (McLEAN e WHEELER, 1964). Outro método que pode contribuir para aumentar a eficiência de fosfatos naturais é a acidificação biológica produzida por alguns grupos de microrganismos do solo.

LIPMAN *et alii* (1916) exploraram um processo microbiológico de acidificação do solo para solubilizar fosfa

tos naturais. O processo explorado foi a oxidação do enxofre por microrganismos do gênero *Thiobacillus*, do qual resulta, como produto final, o ácido sulfúrico. Esses pesquisadores obtiveram solubilização de fosfato de rocha a partir de misturas do fosfato com enxofre incorporadas ao solo. Pesquisadores australianos têm estudado a viabilidade da aplicação prática do processo, encontrando boas perspectivas para utilização em pastagens e culturas perenes.

As condições climáticas das regiões tropicais, principalmente as elevadas precipitações, favorecem o processo de dissolução dos fosfatos naturais e criam condições favoráveis ao desenvolvimento das bactérias responsáveis pela oxidação do enxofre (SWABY, 1975).

Os aspectos microbiológicos da dissolução dos fosfatos naturais têm sido pouco estudados em nossas condições, sendo que alguns trabalhos referem-se à utilização de compostos orgânicos como fonte de energia. Considerando as reservas brasileiras de fosfatos naturais, estimada em dois bilhões de toneladas (ANÔNIMO, 1979), a deficiência generalizada de fósforo em nossos solos e o custo elevado de fertilizantes fosfatados solúveis, é de extrema importância estudar alternativas para a utilização de fosfatos naturais com o mínimo processamento industrial.

Os poucos trabalhos existentes sobre a dissolu

ção de fosfatos naturais por microrganismos que oxidam o enx^ofre em nossas condições e em outras regiões não permitem concluir seguramente sobre a validade ou não do processo. Além do mais, esse ramo da pesquisa pode contribuir para o estudo de outras fontes de enxofre que poderiam ser utilizadas na agricultura, como a pirita e o concentrado piritoso, sendo este último produzido em grandes quantidades como sub-produto do beneficiamento do carvão.

O presente trabalho teve como objetivo estimar, através de experimento em vasos, a dissolução de três fosfatos naturais por meio da atividade microbiológica de oxidação do enxofre.

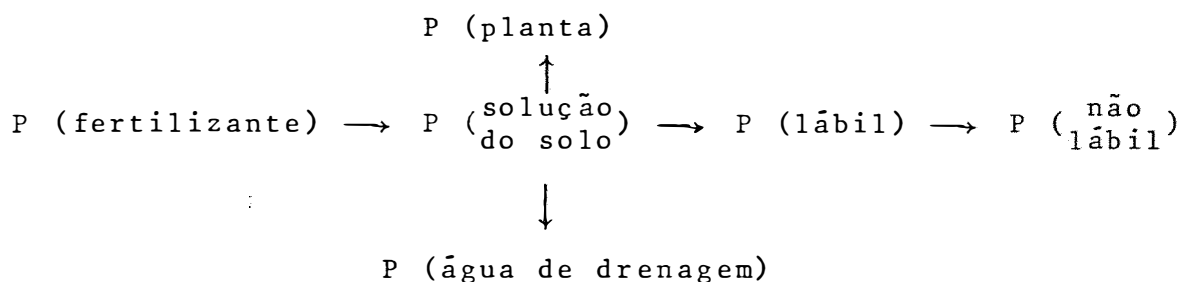
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O fósforo no solo

A disponibilidade de nutrientes para as plantas está relacionada com fatores ligados à capacidade do solo em suprir esses nutrientes e da planta em utilizá-los. As plantas absorvem nutrientes por três processos: intercepção radicular, fluxo de massa e difusão, sendo este último o principal mecanismo de absorção do fósforo (BARBER, 1966; COREY e SCHULTE, 1973). Segundo esses autores, na difusão, o íon se move lentamente na solução do solo até encontrar a raiz e, uma vez em contacto com a mesma, é absorvido. Portanto, para ser absorvido, é necessário que o fósforo esteja dissolvido na solução do solo. Este é o principal aspecto que limita a utilização dos fosfatos naturais, pois sua solubilidade em água é muito baixa e as quantidades liberadas são insuficien-

tes para suprir as necessidades da planta.

LARSEN (1967), propôs o seguinte esquema para explicar a dinâmica do fósforo no solo:



O esquema mostra que o fósforo contido no fertilizante passa para a solução do solo, sendo que parte deste é absorvido pela planta, parte entra em equilíbrio com a fase sólida do solo (P-lável) e muito pouco é perdido nas águas de drenagem. O fósforo lábil representa o fósforo retido na fase sólida do solo, porém passa a solução e é absorvido pelas plantas. Dependendo das características do solo, o fósforo lábil se transforma em não lábil (não disponível), através de reações dificilmente reversíveis (VOLKWEISS e RAIJ, 1976). A passagem do fósforo do fertilizante para a solução do solo depende da solubilidade do fertilizante e a passagem do fósforo lábil para não lábil, depende das características do solo.

Outro fator a ser considerado quando se estuda o comportamento do fósforo no solo é o tempo. LARSEN (1971), citado por VOLKWEISS e RAIJ (1976), explica o comportamento

de duas diferentes fontes de fósforo no solo: uma prontamente solúvel e outra de baixa solubilidade, adicionadas ao mesmo tempo. Pela Figura 1, observa-se que o fosfato solúvel (A) tem a disponibilidade máxima no tempo zero, a qual decresce continuamente, tendendo a se estabilizar. O fosfato de baixa solubilidade (B) tem sua disponibilidade aumentada gradativamente com o tempo até atingir um máximo, após o qual entra em decréscimo. Como pode ser observado pela Figura 1, o efeito residual do fosfato natural pode ser maior do que o do fosfato solúvel.

O efeito residual do fosfato de rocha é, então, consequência da menor velocidade de sua dissolução. No entanto, em solos que apresentam reações levemente ácidas, a dissolução do fosfato natural é favorecida.

ELLIS *et alii* (1955), estudando o efeito de um fosfato de rocha em diferentes valores de pH no desenvolvimento da aveia, observaram que o pH em torno de 5,5 favorece a disponibilidade de fosfatos naturais e que a aplicação do fosfato natural um mês antes da calagem resulta numa disponibilidade maior do fósforo, do que a ordem inversa dessa aplicação.

CHU *et alii* (1962), estudando o efeito da aplicação de fosfatos naturais em diferentes tipos de solos, observaram que a influência do pH sobre o comportamento desses

minerais se faz sentir de maneira indireta, pois valores baixos de pH favorecem a liberação de formas de ferro e alumínio, as quais são as responsáveis pela fixação do fósforo no solo. Os resultados obtidos por esses autores demonstram que os solos que reagem bem à aplicação de fosfatos naturais são os que possuem baixos valores de pH e teores relativamente baixos de ferro livre.

Atividades microbiológicas no solo que resultam em sua acidificação podem, em alguns casos, contribuir para a solubilização de compostos pouco solúveis de fósforo. Essa propriedade que possuem vários microrganismos do solo vem sendo estudada por muitos pesquisadores com a finalidade de aproveitar os fosfatos naturais como fontes de fertilizantes.

2.2. Dissolução de fosfatos naturais por microrganismos produtores de ácidos orgânicos

O primeiro pesquisador a observar a participação dos microrganismos na transformação de compostos fosfatados insolúveis foi Stoklasa (1911), citado por TARDIEUX-ROCHE (1966). Anteriormente ao trabalho de STOKLASA, a dissolução de fosfatos naturais no solo era atribuída à atividade dissolvente das raízes, sendo as observações feitas através de experimentos conduzidos em areia, onde a população de microrganismos pode ser desprezada.

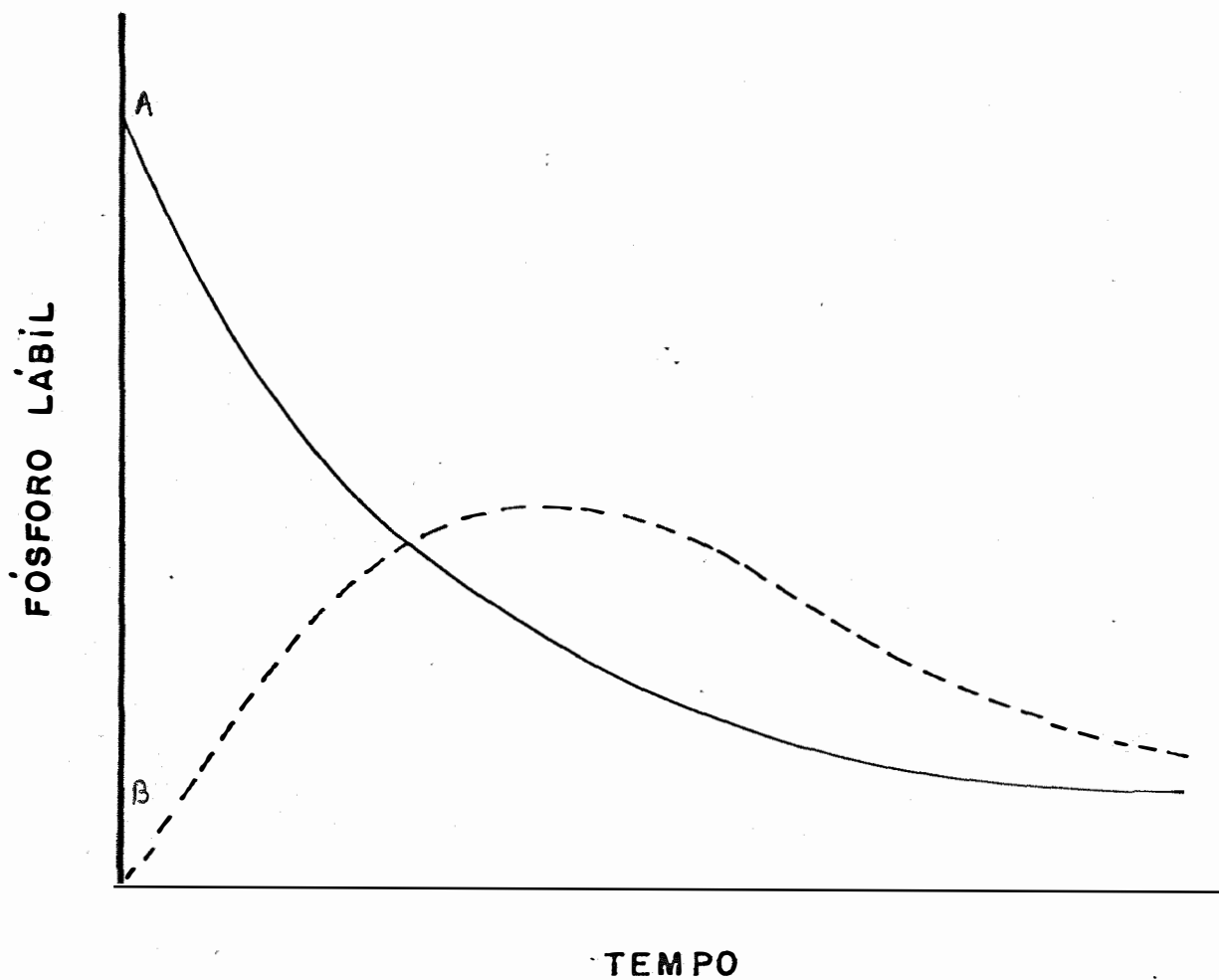


Figura 1. Comportamento teórico de um fosfato solúvel (A) e de um fosfato de baixa solubilidade (B), adicionados ao solo em quantidades iguais e ao mesmo tempo (LARSEN, 1971).

Contudo, esses estudos se revestiram de maior interesse após o trabalho de GERRETSEN (1948). Esse autor cultivou diversas plantas em condições estêreis e não estêreis e forneceu fosfatos insolúveis como única fonte de fósforo. Observou maior peso e maiores teores de fósforo nas plantas cultivadas em condições não estêreis. Obteve, ainda, prova direta da participação dos microrganismos na dissolução, em placas de Petri contendo meio de cultura mais fosfato de cálcio precipitado, inoculadas com pedaços de raízes provenientes das plantas cultivadas em condições estêreis e não estêreis. Apareceram zonas claras indicando solubilização do fósforo, em torno das colônias de microrganismos observadas nas placas que continham raízes provenientes das plantas cultivadas em condições não estêreis. Nas placas que continham raízes provenientes das plantas cultivadas em condições estêreis não apareceram essas zonas claras de solubilização.

Após o trabalho de GERRETSEN, muitos pesquisadores se dedicaram ao estudo da dissolução de fosfatos por microrganismos heterotróficos.

Os microrganismos heterotróficos dependem de reações de oxido-redução como fonte de energia para o crescimento e utilizam os compostos orgânicos como substratos oxidáveis. Esses substratos orgânicos são bastante variáveis e, conseqüentemente, os produtos finais liberados pelos microrganismos acompanham essa variação.

Ácidos orgânicos como o acético, propiônico, lático, glicólico, fumárico e succínico, provenientes do metabolismo microbiano, foram detectados em meio de cultura inoculados com microrganismos, por SPERBER (1957) e podem ser responsáveis pela dissolução de fosfatos de baixa solubilidade. Esse autor sugere, também, que há liberação do fósforo do fosfato férrico em formas assimiláveis pelas plantas, quando este é reduzido a fosfato ferroso pela ação do H_2S produzido por alguns microrganismos, como observou num experimento em que o fosfato férrico foi utilizado como única fonte de fósforo.

LOW e WEBLEY (1959) obtiveram muitos isolados do solo capazes de solubilizar hidroxapatita e fosfatos di e tri-cálcicos. Esses autores atribuíram a capacidade solubilizadora principalmente às bactérias produtoras do ácido 2-cetoglucônico, o que está de acordo com DUFF *et alii* (1963), que observaram, também, que esse ácido é bastante ativo na dissolução de fosfatos pouco solúveis.

Como os microrganismos heterotróficos necessitam de substrato orgânico para se desenvolverem, é comum sua ocorrência na rizosfera, pois nessa região as quantidades de compostos exsudados pelas raízes exercem uma influência muito forte sobre os microrganismos, os quais por sua vez, podem ter efeito significativo sobre a disponibilidade dos nutrientes para as plantas (ROVIRA, 1969). Esse efeito da rizosfera

sobre os microrganismos foi observado por SPERBER (1958a) que encontrou elevado número de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de 4 plantas. As proporções encontradas por esse autor variam entre 30 a 40% na rizosfera, enquanto que no solo a variação foi entre 10 e 17% de solubilizadores de fosfatos. Nesse mesmo trabalho, o autor observou que esses microrganismos abaixaram o pH do meio líquido onde foram cultivados, porém muitos dos ácidos produzidos não foram capazes de solubilizar a apatita, e não foram portanto, identificados. Quando foram feitas sub-culturas, os isolados perderam a capacidade de solubilização.

A ocorrência de fungos e bactérias sobre as sementes de 11 plantas diferentes foi observada por KATSNELSON *et alii* (1962). Esses autores não observaram efeito seletivo das raízes das plantas sobre os microrganismos solubilizadores de fosfatos, embora, aparentemente, a cevada tenha exercido efeito favorável e a aveia, efeito repressivo.

Na Rússia, a prática da inoculação de sementes com as bactérias que possuem a capacidade de dissolver fosfatos (fosfobactérias), foi amplamente utilizada e o principal microrganismo, o *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* (COOPER, 1959).

RAMOS *et alii* (1968), CARVALHO *et alii* (1969) e EIRA e CARVALHO (1970), atribuem a atividade de solubiliza-

ção de fosfatos principalmente aos fungos do solo. Esses autores observaram solubilização de fosfatos "in vitro" pelos fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusidium* e *Fusarium*, sendo que o *Aspergillus niger* se mostrou o mais eficiente no processo.

Resultados de aumento de produção de matéria seca e dos teores de fósforo absorvidos pelo milho foram obtidos por KAVIMANDAN e GAUR (1971). Os quais trabalharam com hidroxiapatita marcada com o ^{32}P e com sementes inoculadas com *Pseudomonas* sp.

A dissolução de fosfatos por microrganismos heterotróficos é um assunto bastante controverso, pois a esses microrganismos são atribuídas outras atividades que podem alterar o comportamento das plantas, beneficiando ou prejudicando o seu desenvolvimento.

BARBER e LOUGHMAN (1967) observaram que os microrganismos podem interferir negativamente na absorção do fósforo solúvel, quando este nutriente se encontra em baixas concentrações, assimilando-o às expensas da planta. Disso resulta um decréscimo na disponibilidade do fósforo às células da raiz e, conseqüentemente, na sua translocação para a parte aérea.

SINGH *et alii* (1976), estudaram o comportamento de três fosfatos naturais e do superfosfato em ausência e

em presença de três microrganismos solubilizadores de fosfatos e observaram uma redução significativa na disponibilidade do fósforo, principalmente no caso do superfosfato.

Num estudo complexo sobre interações entre fosfatos naturais e microflora do solo, TARDIEUX-ROCHE (1966) observou que, após a adição de uma fonte de fósforo ao solo, existe uma profunda evolução na composição da microflora: fixadores de nitrogênio, nitrificadores, decompositores da matéria orgânica, etc., havendo ativação na produção de nitratos, substâncias reguladoras do crescimento e decomposição da matéria orgânica. Segundo essa autora muitas espécies de microrganismos são capazes de dissolver rapidamente os fosfatos naturais. Observou também que, em cultura pura, bactérias e fungos que produzem ácidos a partir de glucídios são as causas mais frequentes da dissolução dos fosfatos naturais.

Muitos microrganismos decompositores da matéria orgânica atuam nas formas do fósforo orgânico do solo, através da atividade das fosfatases, mineralizando-o e contribuindo para um aumento deste elemento para as plantas (COSGROVE, 1967). SMITH *et alii* (1961) afirmam que o *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, um microrganismo ao qual se atribue a capacidade de solubilizar fosfatos minerais, é na realidade, decompositor de fosfatos orgânicos, por produzir fosfatase. Esses autores não observaram benefícios da inoculação com fobactérias em dois experimentos conduzidos em vasos, com to-

mate e trigo, nas quais foram aplicados fosfatos naturais.

Alguns microrganismos solubilizadores de fosfatos são produtores de substâncias reguladoras do crescimento das plantas, como giberelinas, ácido indol-acético e citocininas, como demonstraram BROWN (1972) e BAREA *et alii* (1976). LINCH (1976), num artigo de revisão, mostra inúmeros trabalhos que comprovam a produção de reguladores de crescimento por microrganismos.

A atuação de mais de uma espécie deve então ser considerada, pois o solo é um ecossistema complexo, onde os produtos resultantes do metabolismo dos microrganismos e das plantas diferem quantitativa e qualitativamente. Alguns trabalhos citados por LINCH (1976) sugerem que os metabólitos de um grupo de microrganismos podem favorecer o desenvolvimento de outros microrganismos produtores de substâncias tóxicas que inibem o crescimento de fitopatógenos.

As interações microrganismos/microrganismos / plantas, podem ocorrer de maneira benéfica, como demonstraram OCAMPO *et alii* (1975). Esses autores verificaram que plântulas de *Lavandula spica* inoculadas com *Azotobacter* spp (fixador livre de nitrogênio) e três fosfobactérias, desenvolveram-se melhor em um solo pobre em fósforo, em relação às plântulas não inoculadas e às que receberam inoculação de cada uma das espécies separadamente.

Num estudo sobre o efeito das interações entre fosfobactérias, *Rhizobium* sp e fungos micorrízicos no desenvolvimento da alfafa (*Medicago sativa*), cultivada num solo pobre em fósforo, AZCÓN *et alii* (1978) observaram interações positivas entre aqueles microrganismos, pois a nodulação foi bastante dependente dos fungos micorrízicos e o *Rhizobium* e as fosfobactérias melhoraram o crescimento das plantas, a nodulação e a formação das micorrizas. Porém esses autores atribuem um efeito hormonal às fosfobactérias pois não foi observado um aumento de fósforo no solo devido à inoculação com os referidos microrganismos.

As evidências de que alguns grupos de microrganismos heterotróficos podem beneficiar o desenvolvimento das plantas são muitas e, em termos de dissolução de fosfatos através desses microrganismos, existem muitas controvérsias e poucas perspectivas de aplicação prática (TINKER, 1975 e 1980).

LARSEN (1967) afirma que a solubilização do fósforo por ácidos orgânicos provenientes da atividade microbiana é de ocorrência rara, uma vez que tais ácidos se decompõem rapidamente no solo. Esse autor atribue como causa da dissolução o CO₂ liberado pelos microrganismos, o qual dá formação ao ácido carbônico. LARSEN também afirma que o acúmulo de um ácido inorgânico forte pode ter melhores efeitos na dissolução desses minerais.

Durante longo tempo suspeitou-se que as micorrizas também pudessem estar envolvidas na dissolução de fosfatos naturais, porém, atualmente existem inúmeras evidências que a maior absorção do fósforo por plantas infectadas pelo fungo se deve à maior superfície de absorção propiciadas pelas hifas externas (SANDERS e TINKER, 1973).

Embora esses fungos não participem da dissolução dos fosfatos, trabalhos realizados por MOSSE *et alii* (1976) e POWELL e DANIEL (1978) mostram melhor aproveitamento dessas fontes de fósforo por plantas micorrizadas em relação às que não foram inoculadas.

A possibilidade de interações sinérgicas entre micorrizas e bactérias solubilizadoras de fosfatos também tem sido estudada e dois aspectos principais merecem atenção: a. a influência do fungo no estabelecimento das fosfobactérias na zona das raízes e o efeito das fosfobactérias na infecção fungo-planta e b. a atividade combinada desses microrganismos em afetar o desenvolvimento das plantas (BAREA *et alii*, 1975).

AZCÓN *et alii* (1976) observaram maior crescimento e maior absorção de fósforo natural em plantas de *Lavandula spica* inoculadas com micorriza e fosfobactérias cultivada num solo alcalino, adubado com fosfato natural.

2.3. Dissolução de fosfatos naturais por microrganismos produtores de ácidos inorgânicos

Ácidos fortes como nítrico e sulfúrico, resultantes da oxidação microbiológica da amônia e do enxofre respectivamente, podem contribuir para dissolver minerais fosfatados pouco solúveis (ALEXANDER, 1961).

Os compostos orgânicos e inorgânicos do enxofre são oxidados por alguns grupos de microrganismos que vivem nos mais diversos "habitats" (ALEXANDER, 1961; BURNS, 1967 e DOMMARGUES e MANGENOT, 1970). Em solos aráveis, dois grupos de microrganismos são de ocorrência mais comum: a. microrganismos heterotróficos, incluindo fungos, bactérias e actinomicetos e b. bactérias autotróficas do gênero *Thiobacillus*.

Entre os heterotróficos são reconhecidas 9 espécies de bactérias (SWABY e VITOLINS, 1968), alguns fungos e duas leveduras (BURNS, 1967; SWABY e VITOLINS, 1968). Esses microrganismos não utilizam o enxofre elementar como fonte de energia, raramente abaixam o pH do meio e produzem pequenas quantidades de sulfato, quando comparados ao *Thiobacillus*. SWABY e VITOLINS (1968) sugerem que a oxidação do enxofre no solo é resultante da atividade de diferentes espécies que atuam simultaneamente.

As bactérias do gênero *Thiobacillus* utilizam

os compostos do enxofre como única fonte de energia, oxidando-os a ácido sulfúrico. Atualmente neste gênero são descritas 8 espécies (BUCHANAN *et alii*, 1974), sendo que o *T. thiooxidans* se distingue das outras espécies por oxidar rapidamente o enxofre em condições de forte acidez.

A oxidação do enxofre como meio de dissolver fosfatos naturais foi intensivamente estudada no início deste século, após o trabalho de LIPMAN *et alii* (1916). Esses autores incubaram uma mistura contendo enxofre, fosfato natural e solo em condições de umidade e, após um período de 6 meses, verificaram que 85% do fósforo contido no fosfato natural estava na forma assimilável pelas plantas. O composto assim obtido foi denominado de "biosuper" ("biological superphosphate").

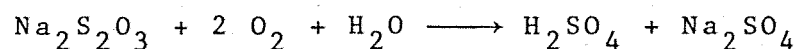
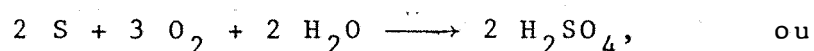
LIPMAN e MCLEAN (1918), com base em resultados experimentais, sugeriram que o "biosuper" poderia ser utilizado em condições de campo.

MCLEAN (1918) estudou a influência de diversos fatores como tipo de fosfato, o tamanho das partículas dos constituintes, o contacto íntimo entre elas e a inoculação com solo de elevada atividade de oxidação do enxofre. Observou também alguns fatores que causavam inibição do processo, como a adição de matéria orgânica, nitrato de sódio e sulfato de cobre.

JOFFE (1922b) também estudou a influência de

alguns fatores no composto solo-enxofre-fosfato. Tentativas de isolamento do microrganismo responsável pela oxidação do enxofre elementar foram feitas por JOFFE (1922a), porém o microrganismo foi isolado e descrito por WAKSMAN (1922) e recebeu o nome de *Thiobacillus thiooxidans*.

Para que o produto resultante do metabolismo de um ou mais microrganismos interfira sobre um produto natural do solo ou adicionado a este, é necessário que ele esteja ativo na forma e presente em concentração suficiente para que o processo se realize. O ácido sulfúrico produzido pelo *T. thiooxidans* pode preencher esta condição, pois esse microrganismo utiliza o enxofre elementar ou o tiossulfato como fonte de energia para o metabolismo. A partir da oxidação desses compostos há produção de ácido sulfúrico, conforme as reações abaixo:



A população de *T. thiooxidans* é bastante limitada devido à ausência generalizada de enxofre nos solos, porém a adição deste elemento ao solo induz um aumento rápido desses microrganismos (ALEXANDER, 1961). Portanto, num solo com elevada atividade de oxidação de enxofre, a incorporação

da mistura de enxofre e fosfato natural pode resultar num melhor aproveitamento do fosfato pela planta.

NELLER (1956) observou melhor desenvolvimento e maiores teores de fósforo em plantas de aveia e trevo que receberam fosfato de rocha em mistura com enxofre, em relação àquelas que receberam somente o fosfato.

Resultados expressivos devido à mistura de enxofre e fosfato natural foram obtidos por NIMGADE (1968). Esse autor verificou um rendimento de 70% no desenvolvimento do azevém adubado com enxofre e fosfato natural, contra um rendimento de 55% devido ao superfosfato. Observou teores de fósforo iguais a 0,15% para o controle, 0,19% para o fosfato de rocha, 0,39% para o superfosfato e 0,61% para a mistura de fosfato natural + enxofre.

FISCHER e NORMAN (1970) obtiveram resultados significativos num experimento de campo com *Stilosanthes humilis*. No segundo ano de cultivo, o rendimento dessa forrageira nos tratamentos que receberam fosfato natural + enxofre, inoculadas com *Thiobacillus thiooxidans*, foi equivalente ao do superfosfato. Resultados semelhantes foram obtidos por JONES e FIELD (1976).

SWABY (1975) comparou o efeito da mistura de enxofre + fosfato natural + *Thiobacillus thiooxidans* com o do superfosfato em experimentos de campo, instalados em regiões

de diferentes precipitações pluviométricas. Obteve resultados melhores com o "biosuper" do que com o superfosfato, em regiões de elevada precipitação.

Em nossas condições, MALAVOLTA (1952), observou 71,7% de solubilização da apatita de Jacupiranga em mistura com enxofre, na proporção de 1:1. Efeitos significativos na produção e nodulação de *Lupinus* sp foram obtidos por esse autor, ao utilizar uma mistura de fosfato com enxofre nessa proporção.

OLIVEIRA *et alii* (1977), num experimento conduzido em vasos, observaram respostas significativas da soja *perene* (*Glycine wightii*) à apatita de Araxá, misturada com enxofre elementar. Neste experimento não foi feita a inoculação com o *T. thiooxidans*.

Considerando o exposto acima, observa-se que os aspectos práticos da dissolução microbiológica de fosfatos naturais e suas consequências no solo e na planta tem sido pouco estudados em nossas condições, sendo muito importante obter maiores informações sobre o processo e sua aplicação prática na agricultura.

2.4. O capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) e exigências nutricionais referentes ao fósforo

No Brasil, grande parte das pastagens são de ocorrência natural. Durante muito tempo pouca atenção foi dada às exigências nutricionais das espécies que as compõe, uma vez que elas vegetam naturalmente e são formadas por plantas rústicas, em sua maioria gramíneas. Mesmo as pastagens introduzidas são instaladas em áreas de baixa fertilidade e em muitos dos casos a adubação se limita à sua formação, refletindo no suprimento inadequado de nutrientes e conseqüentemente no crescimento lento dos capins.

Assim é que atualmente muitos trabalhos tem se dedicado ao estudo da nutrição das forrageiras, visando a obtenção de níveis adequados de nutrientes que satisfaçam também as exigências dos animais.

O capim-colonião é bastante conhecido devido às suas qualidades forrageiras, sendo de grande ocorrência na região Noroeste do Estado de São Paulo, onde é predominante na pecuária.

Diversos autores tem estudado os aspectos nutricionais dessa gramínea.

QUINN *et alii* (1961) obtiveram aumentos na produção de carne por hectare, devido à aplicação de nitrogênio

e fósforo em pastagens de colônia, localizadas na região Noroeste do Estado. WERNER *et alii* (1967a) verificaram que o fósforo foi o elemento que mais limitou o crescimento do capim-colônia, num solo também da Noroeste do Estado. WERNER *et alii* (1967b) observaram num ensaio de vasos, com essa forrageira, grande deficiência de fósforo e resposta à aplicação do nitrogênio somente quando em presença do fósforo.

WERNER e HAAG (1972) verificaram, num ensaio conduzido em vasos, que a produção de matéria seca e os teores de fósforo no colônia foram crescentes até o maior nível de fósforo (40 ppm) utilizado na solução nutritiva.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de 04.10.78 a 17.01.79, em casa-de-vegetação da Seção de Microbiologia do Solo do Instituto Agronômico, localizada no Centro Experimental de Campinas (Fazenda Santa Eliza).

3.1. Solo

Utilizou-se um Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa (Typic Haplortox), com A moderado, coletado dos 20 cm superiores, numa área do Centro Experimental de Campinas, Instituto Agronômico.

Esse solo foi escolhido por estar sob vegetação natural, não ter recebido fertilizantes e apresentado teores baixos em nutrientes, principalmente fósforo.

O solo utilizado apresentou as seguintes características:

3.1.1. Características químicas

pH = 5,0, matéria orgânica = 4,1%; Al^{3+} = 0,8 e.mg/100 ml TFSA; Ca^{2+} = 0,7 e.mg/100 ml TFSA; Mg^{2+} = 0,3 e.mg/100 ml TFSA; K = 59 ppm e P = 2 ppm.

3.1.2. Análise granulométrica

0-20 cm: argila=34,0%; limo = 7,0%; areia fina = 19,0% e areia grossa = 40%.

0-40 cm: argila = 39,0%; limo = 7%; areia fina = 19,0% e areia grossa = 35%.

3.2. Preparo do solo, calagem e adubação básica

Após secagem e destorroamento, o solo foi passado em peneira de 4 mm de abertura. Fez-se uma calagem básica para neutralizar o alumínio trocável, empregando-se o calcário dolomítico em quantidade equivalente a 600 mg por quilo grama de solo.

A adubação básica adicionou, por quilograma de solo, os seguintes elementos: 40 mg de nitrogênio, 80 mg de potássio, 13 mg de enxofre, 2 mg de manganês, 0,6 mg de cobre e 0,28 mg de boro, na forma dos seguintes sais: KNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ZnSO_4 , MnSO_4 , CuSO_4 e $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Esses elementos foram adicionados em solução nutritiva, sendo esta misturada e bem homogeneizada com o solo, por ocasião do plantio.

3.3. Tratamentos e delineamento estatístico

Os tratamentos constaram de três fosfatos naturais, adicionados em três níveis e em ausência e em presença de enxofre, de maneira a comporem um esquema fatorial $3 \times 3 \times 2$. Foram feitas três repetições de cada tratamento.

Paralelamente foram feitos tratamentos com 5 níveis de superfosfato triplo (0, 50, 100, 150 e 200 mg de P_2O_5 por quilograma de solo), para avaliar as respostas do capim-colonião ao fósforo, no solo utilizado neste experimento.

3.3.1. Fosfatos Naturais

Fosfato catalão: jazida recente, contendo fosfato apatítico, de origem ígnea, com 38,34% de P_2O_5 total e baixa solubilidade.

Fosfato alvorada: fosfato apatítico, de origem ígnea, com 29,62% de P_2O_5 total e solubilidade média.

Hiperfosfato (Gafsa): fosfato apatítico, de origem sedimentar, apresentando 27,30% de P_2O_5 total e solubilidade relativamente boa.

Esses fosfatos foram empregados nos níveis de 100, 150 e 200 mg de P_2O_5 por quilograma de solo.

3.3.2. Enxofre

Empregou-se o enxofre elementar ventilado, considerando-se para efeitos de cálculos, um teor de 100% de pureza.

3.3.3. Misturas de fosfatos com enxofre

Antes de serem misturados, os fosfatos e o enxofre foram passados em peneira de 74 micra de abertura (200 mesh).

As misturas foram feitas com 5 partes de fosfato natural e uma parte de enxofre elementar, conforme recomendada SWABY (1975). Para os níveis de 100, 150 e 200 mg de P_2O_5 , foram adicionadas as quantidades de 20, 30 e 40 mg de

enxofre por quilograma de solo, respectivamente. Esta mistura foi aplicada numa faixa de solo com 5 cm de espessura e 5 cm abaixo da superfície.

3.4. Plantio

A planta indicadora foi o capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.).

Para o plantio foram empregados recipientes plásticos com capacidade para 5 litros de solo.

Todos os adubos foram adicionados por vaso, no dia do plantio.

As sementes do capim-colonião foram esterilizadas com ácido sulfúrico concentrado, durante 2 minutos, após os quais foram feitas lavagens sucessivas com água esterilizada. A semeadura foi feita em 04.10.1978, utilizando-se 8 sementes por vaso. O desbaste foi feito 10 dias após o plantio, deixando-se 2 plantas por vaso.

3.5. Inoculação

No dia do plantio, todos os vasos receberam 1 ml de suspensão de células de *Thiobacillus thiooxidans*, cul

tura ATCC-19 377, em NaCl 0,09%.

3.6. Condução

Os vasos foram distribuídos de maneira inteiramente casualizada, sendo feitas redistribuições a cada 15 dias. Foram mantidos em carrinhos localizados em trilhos de modo a permitirem sua retirada da casa-de-vegetação. Dessa maneira, os vasos foram mantidos fora da casa-de-vegetação no período diurno. A irrigação foi feita diariamente, procurando-se por meio de pesagens, manter a umidade constante a 75% da capacidade de campo.

O experimento foi conduzido por um período de 105 dias. Foram feitos três cortes a intervalos de 35 dias um do outro. Após cada corte os vasos receberam readubação, sendo irrigados com solução nutritiva de mesma composição à do plantio. Em cada corte, obteve-se o número de perfilhos, a produção de matéria seca e as quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio absorvidos pela parte aérea. A produção de matéria seca foi obtida por pesagem da parte aérea seca a 65°C. As determinações de fósforo, enxofre e nitrogênio foram feitas segundo métodos descritos por BATAGLIA *et alii* (1978). Por ocasião do último corte retiraram-se amostras de solo dos vasos correspondentes a cada tratamento, para determinação potenciométrica do pH, o qual foi determinado em solução aquosa na proporção 2:1 (água - solo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento com o superfosfato triplo

Os dados de produção de matéria seca, número de perfilhos e quantidades totais de fósforo, nitrogênio e enxofre na parte aérea obtidos com as doses de 50, 100, 150 e 200 mg de P_2O_5 /kg de solo, aplicados como supertriplo, estão apresentados na Tabela 1. Na comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, a produção obtida com a dose 200 não diferiu da obtida com a dose 150. As produções obtidas com as doses 50 e 100 foram iguais entre si e não diferiram da obtida com dose 150. Para o número de perfilhos, a dose 200 foi superior, e não diferiu da 150. O perfilhamento obtido com a dose 100 foi estatisticamente igual ao obtido com a dose 150. O número de perfilhos obtidos pela adição da dose 50 diferiu do controle (sem fósforo) e foi inferior às outras doses. No caso do fósforo, os teores desse elemento

Tabela 1. Produção de matéria seca (g/vaso), número de perfilhos e quantidades de fósforo (mg/vaso), enxofre (mg/vaso) e nitrogênio (mg/vaso) absorvidas pela parte aérea do capim-colonião, cultivado em vasos, com Latossolo Vermelho Amarelo. Médias de três repetições.

Tratamento	Produção (g/vaso)	Nº de perfilhos	Fósforo (mg/vaso)	Enxofre (mg/vaso)	Nitrogênio (mg / vaso)
Supertriplo 0	7,13c	9,67d	6,04e	3,87c	248,24b
Supertriplo 50	33,23b	40,67c	33,96d	9,35b	728,40a
Supertriplo 100	33,70b	50,67b	44,06c	12,32ab	782,82a
Supertriplo 150	37,70ab	58,33ab	51,87b	13,74ab	815,27a
Supertriplo 200	41,93a	64,00a	61,56a	12,30a	826,59a
CV (%)	6,30	8,15	5,71	16,5	10,45
dms (Tuckey 5%)	6,14	9,80	6,14	4,58	191,46

na parte aérea, foram crescentes com o aumento dos níveis de supertriplo aplicados, sendo que todas as doses diferiram estatisticamente entre si. Com o enxofre absorvido, ocorreu o mesmo que para o número de perfilhos: a dose 200 foi superior, as doses 100 e 150 não diferiram entre si e foram iguais à dose 150. A dose 50 não diferiu da 100 e 150 e diferiu do controle, o qual foi inferior. No caso do nitrogênio absorvido, não houve diferenças entre as quantidades absorvidas devido à aplicação de diferentes doses de fósforo, sendo que as doses do supertriplo diferiram somente da testemunha.

Estudando a curva de resposta do capim-colônia às doses de fósforo aplicadas como superfosfato triplo, verificaram-se altas correlações entre fósforo aplicado e produção, perfilhamento e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio. Os coeficientes de correlação para esses parâmetros estudados, foram de 0,990; 0,999; 0,999; 0,989 e 0,989 respectivamente (Figuras 2, 3, 4, 5 e 6).

Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por QUINN *et alii* (1961), WERNER *et alii* (1967a, 1967b) e WERNER e HAAG (1972), demonstrando que essa forrageira é exigente em fósforo e reagiu bem à aplicação do elemento no solo utilizado neste experimento.

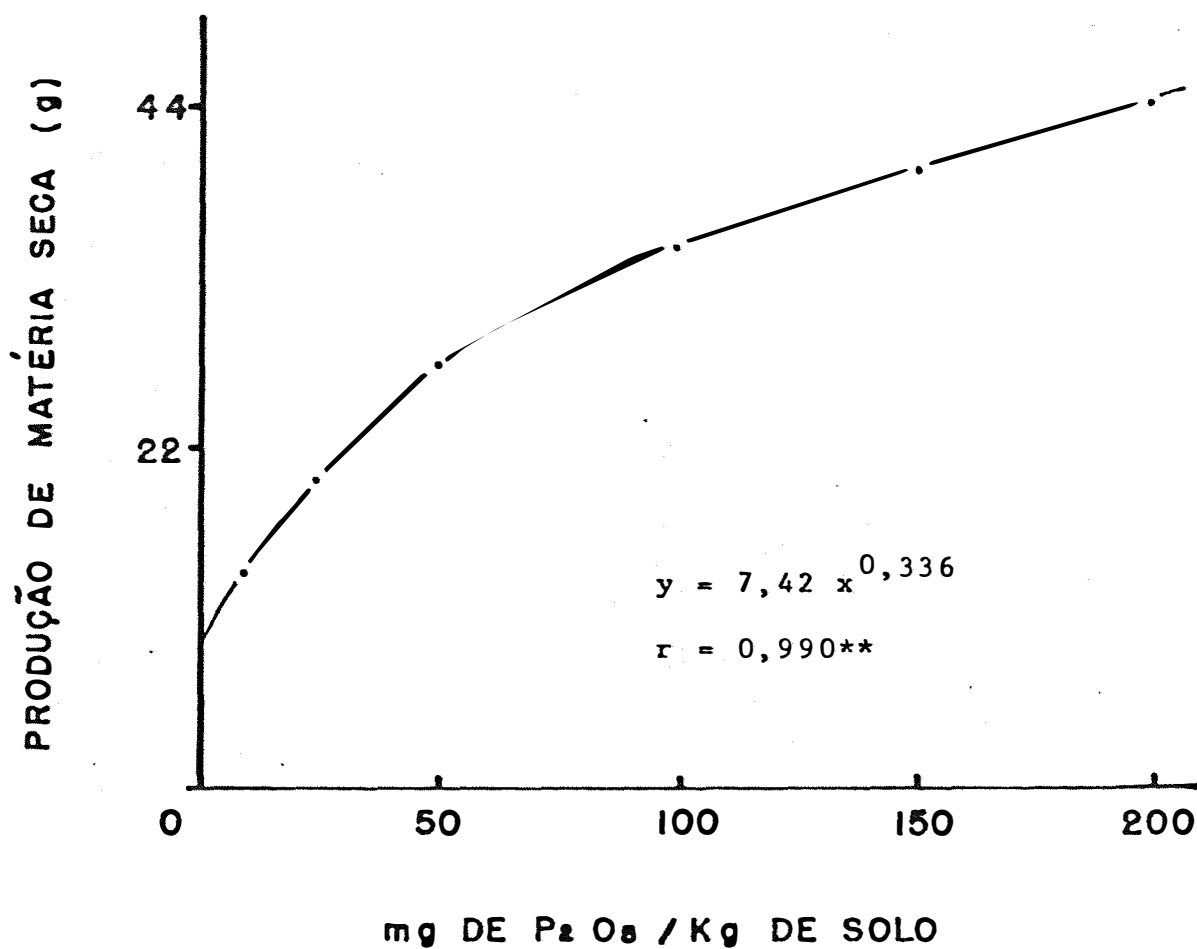


Figura 2. Correlação entre produção de matéria seca (mg/vaso) do capim-colonião, cultivado em vasos, com Latossolo Vermelho Amarelo e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo.

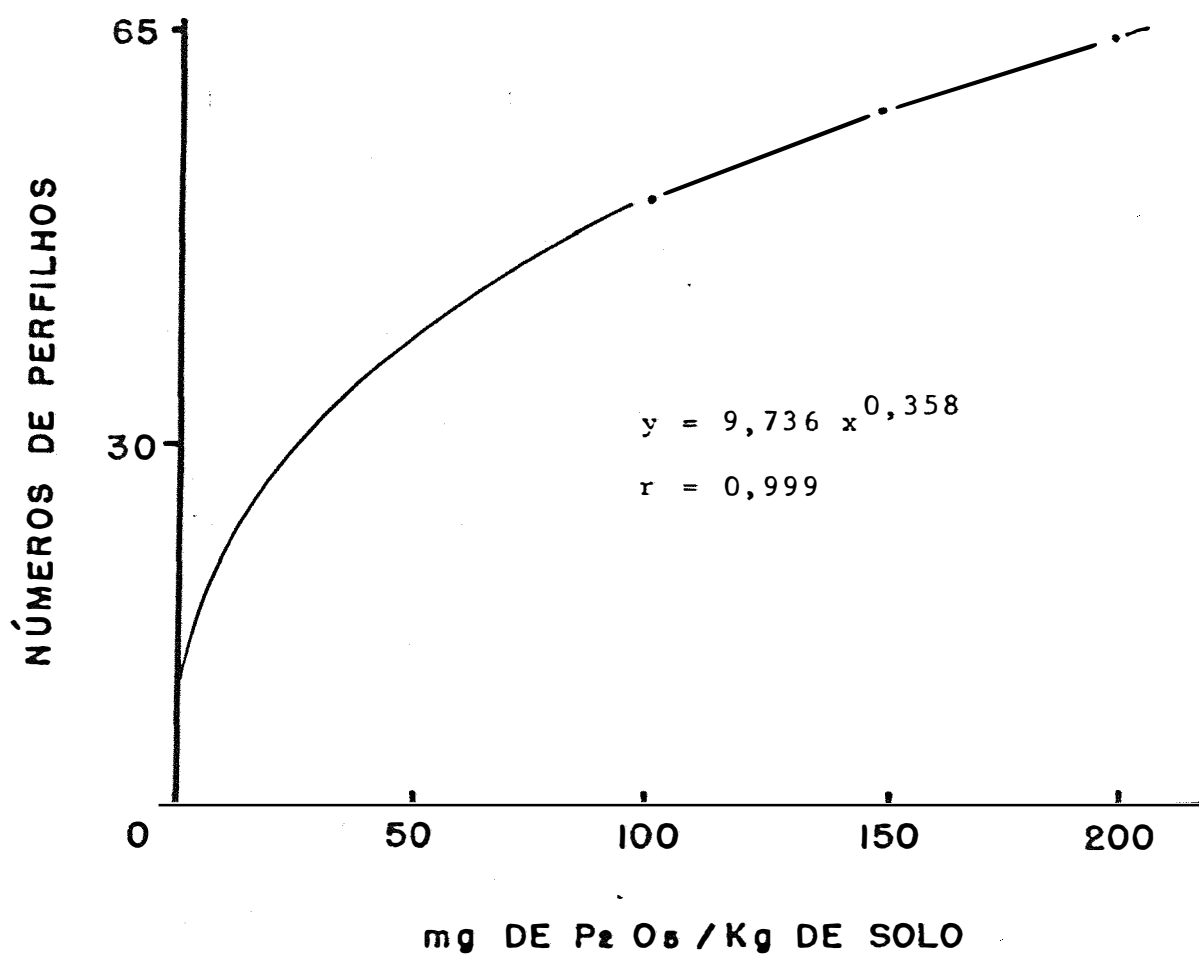


Figura 3. Correlação entre número de perfilhos do capim-colôniã, cultivado em vasos com Latossolo Vermelho Amarelo e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo.

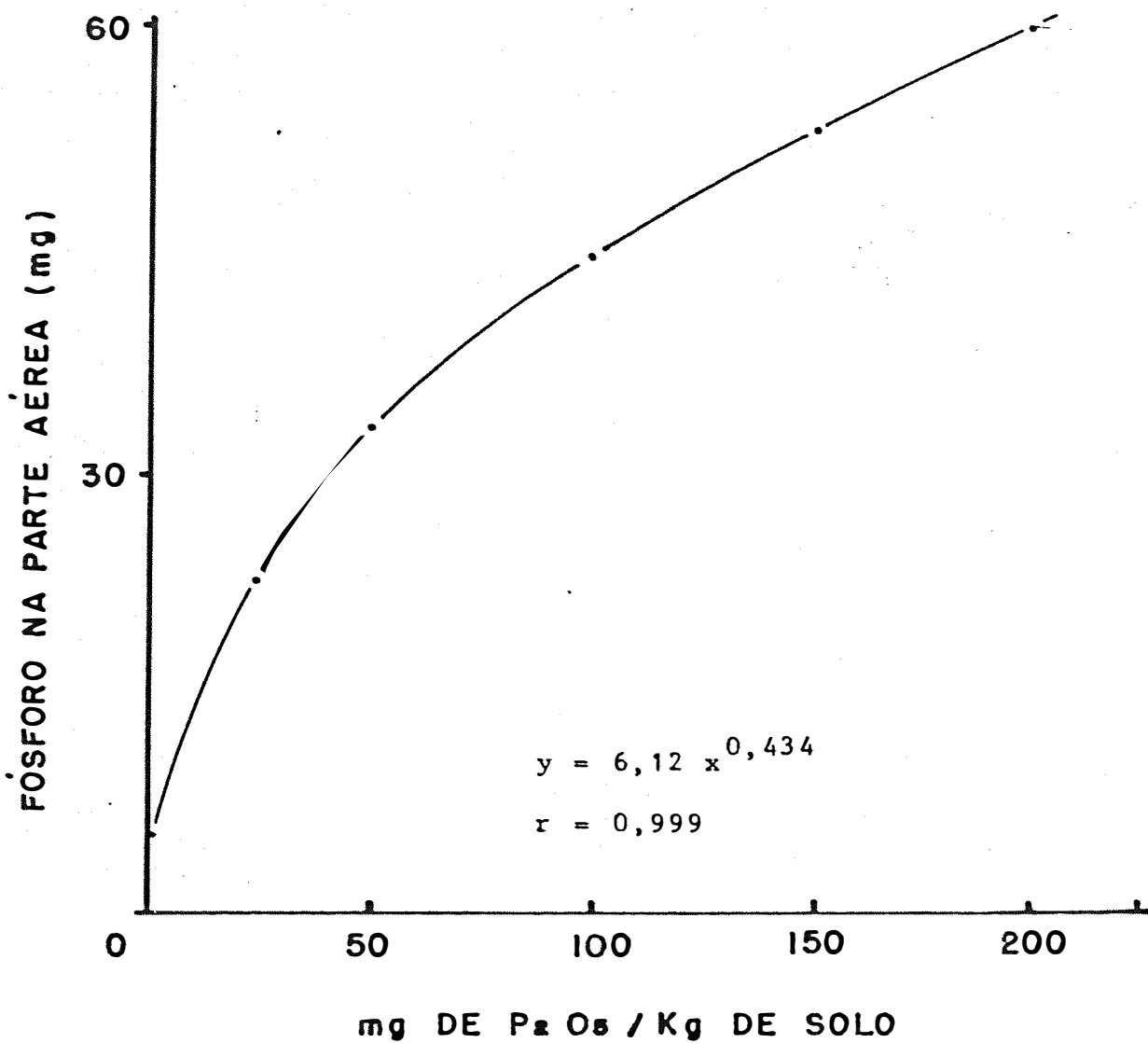


Figura 4. Correlação entre quantidades de fósforo (mg/vaso) na parte aérea do capim-colônião cultivado em vasos, com Latossolo Vermelho Amarelo e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo.

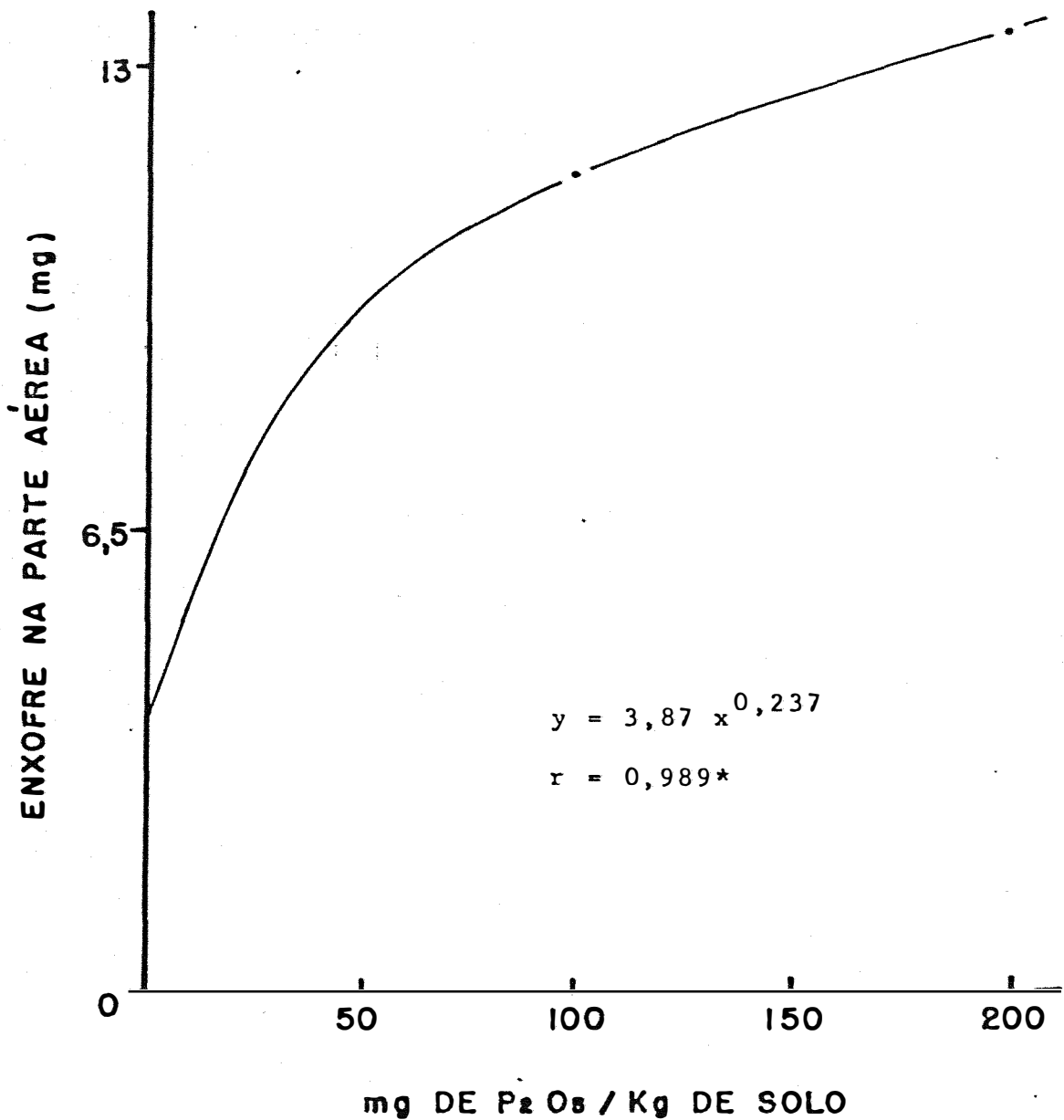


Figura 5. Correlação entre quantidades de enxôfre (mg/vaso) na parte aérea do capim-colonião cultivado em vasos, com Latossolo Vermelho Amarelo e fôsforo adicionado ao solo oomo superfosfato triplo.

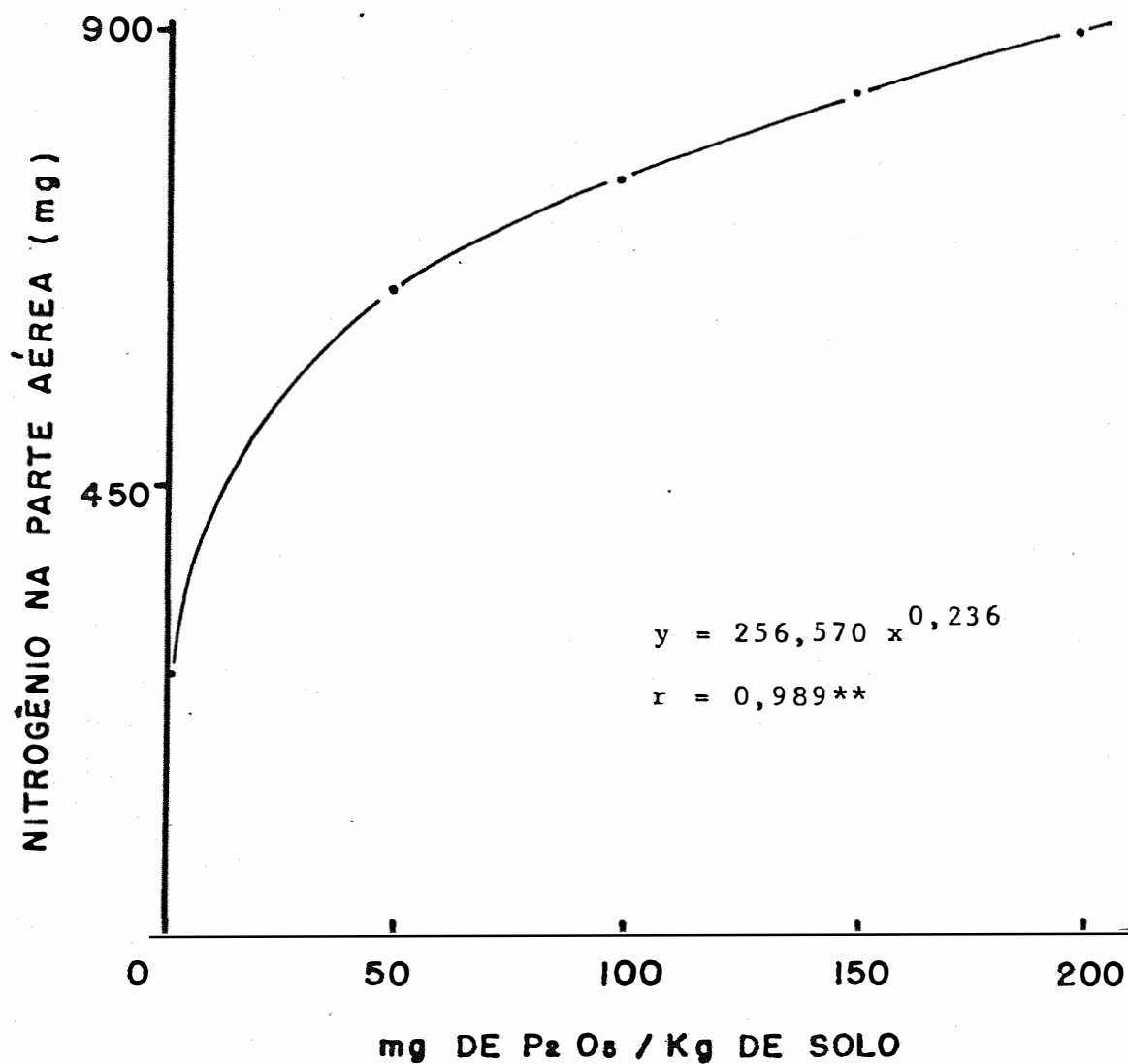


Figura 6. Correlação entre quantidades de nitrogênio (mg/vaso) na parte aérea do capim-colonião cultivado em vasos com Latossolo Vermelho Amarelo e fósforo adicionado ao solo como superfosfato triplo.

4.2. Experimento com os fosfatos naturais

As respostas do capim-colônião aos fosfatos na turais variaram como era esperado, de acordo com a solubilidade de dos mesmos. Devido a essa diferença na reatividade dos fosfatos, na análise da variância, os graus de liberdade do erro experimental foram desdobrados, sendo calculados para ca da fosfato (COCHRAN, 1947). Dentro de cada fosfato, foram es tudados os efeitos do enxofre, das doses e da interação dose x enxofre.

Os dados de produção de matéria seca, número de perfilhos e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio, estão apresentados na Tabela 2.

Para interpretação desses resultados consideraram-se como testemunhas, os tratamentos com os fosfatos na ausência do enxofre, sendo de interesse as diferenças significativas entre tratamentos sem e com enxofre.

Embora se tenha observado efeito altamente significativo do enxofre na produção, número de perfilhos e quantidades de fósforo absorvidas pela parte aérea (Tabela 3), os resultados obtidos com o fosfato catalão em mistura com enxofre não diferiram estatisticamente das testemunhas (Tabela 2). No caso do nitrogênio não foi observado efeito significativo da adição do enxofre. Observou-se efeito de doses apenas no caso da absorção do enxofre, porém não houve tendência linear

ou quadrática. Em nenhum dos casos houve efeito significativo da interação enxofre x dose. É interessante que, embora não se tenha observado diferenças significativas, a produção e as quantidades de fósforo na parte aérea quase dobraram para esse fosfato na maior dose. Porém, os elevados coeficientes de variação não permitiram uma boa separação entre as médias. Além disso, essas quantidades não foram suficientes para propiciar um desenvolvimento satisfatório das plantas.

A adição do enxofre ao catalão teve efeito altamente significativo na absorção do referido elemento pelo colônião (Tabela 3) o que não foi verificado com o fosfato alvorada e o hiperfosfato. Aparentemente, nesse caso, nem todo o ácido sulfúrico produzido dissolveu o fosfato. Mesmo assim, nota-se que o efeito do enxofre foi pequeno, pois os aumentos do enxofre absorvido onde o catalão foi adicionado em mistura com aquele elemento, não diferiram estatisticamente das testemunhas. Também as quantidades do nitrogênio na parte aérea não aumentaram expressivamente devido às doses de fósforo aplicadas ou à adição do enxofre ao fosfato.

Para o fosfato Alvorada, a adição do enxofre propiciou aumentos significativos no caso da produção e do fósforo absorvido, nas três doses de fósforo utilizadas (Tabela 2). Houve efeito das doses, sendo o componente linear significativo para a produção e para o fósforo, em ausência e em mistura com enxofre (Tabela 3). Considerando o número de per

Tabela 2. Produção de matéria seca (g/vaso), número de perfilhos e quantidades de fósforo (mg/vaso), enxofre (mg/vaso) e nitrogênio (mg/vaso), na parte aérea do capim-colônião, cultivado em vasos, com Latossolo Vermelho Amarelo. Médias de 3 repetições.

Tratamento	Produção (g)		Nº de Perfilhos		Fósforo (mg)		Enxofre (mg)		Nitrogênio (mg)	
	Sem S ^{1/}	Com S	Sem S	Com S	Sem S	Com S	Sem S	Com S	Sem S	Com S
Catalão 100 ^{2/}	9,17	12,73	14,00	18,33	7,69	11,72	3,12	4,90	309,88	340,93
Catalão 150	11,27	14,53	19,67	23,00	10,26	14,99	4,50	6,23	361,15	382,72
Catalão 200	9,27	17,77	17,00	21,33	8,25	15,86	5,24	6,94	275,25	430,63
C.V.	25,00		20,50		24,30		23,98		20,44	
dms	8,59		10,63		7,66		3,35		196,42	
Alvorada 100	22,00	31,83*	32,33	37,33	21,09	32,69*	9,45	6,52	485,31	735,24*
Alvorada 150	23,63	33,70*	30,00	48,67*	22,01	39,24*	8,59	8,86	476,26	829,18*
Alvorada 200	27,97	36,07*	31,33	54,33*	26,30	42,90*	7,69	8,24	665,13	752,79
C.V.	5,00		6,19		7,94		21,18		9,50	
dms	4,37		6,60		6,70		4,78		171,44	
Hiperfosfato 100	31,20	35,87	42,00	52,33	32,99	42,26*	8,95	8,02	637,99	641,08
Hiperfosfato 150	34,63	39,10	45,67	62,67*	39,49	46,13	11,52	9,53	700,69	832,84
Hiperfosfato 200	32,73	37,27	44,33	55,33	36,33	51,85*	7,22	12,29*	675,14	785,71
C.V.	8,00		10,42		6,55		10,65		9,5	
dms	7,72		14,25		7,47		2,80		171,45	

^{1/} S = enxofre

^{2/} 100, 150, 200 = mg de P₂O₅/kg de solo

* difere do tratamento sem enxofre, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

filhos, apenas os aumentos propiciados pelas doses 150 e 200 do fosfato alvorada diferiram das testemunhas sem enxofre. No caso do perfilhamento, houve efeito significativo do enxofre, das doses e da interação dose x enxofre, indicando um maior efeito do enxofre nas doses mais elevadas do fosfato (Tabela 3). É interessante observar, neste caso, que a adição do enxofre ao fosfato alvorada não teve efeito significativo na absorção do enxofre pela planta, o que aparentemente pode evidenciar a dissolução do fósforo. As quantidades do nitrogênio absorvidas nos tratamentos com as doses 100 e 150 diferiram significativamente das testemunhas (Tabela 2). Onde foram adicionados 200 mg de P_2O_5 /kg de solo, tanto em ausência como em presença de enxofre, não houve diferença na absorção do nitrogênio. Para esse elemento não foi observado efeito de doses, porém a interação enxofre x dose foi significativa (Tabela 3). Contrariamente ao perfilhamento, no caso do nitrogênio o efeito da adição do enxofre foi maior onde se adicionaram menores quantidades de fósforo.

Embora tenha sido observado efeito significativo da adição do enxofre ao hiperfosfato (Tabela 3) as produções obtidas com qualquer das doses desse fosfato aplicadas em mistura com enxofre não diferiram estatisticamente das testemunhas (Tabela 2). Não foram observados efeitos significativos das doses e da interação enxofre x dose. Para o número de perfilhos observou-se efeito do enxofre, sendo que somente

os aumentos obtidos com a dose 150 em mistura com enxofre diferiram da testemunha (Tabela 2). Não houve neste caso, efeito de doses e da interação enxofre x dose. As quantidades de fósforo absorvidas com as doses 100 e 200, na presença do enxofre diferiram estatisticamente das testemunhas. Observaram-se efeitos significativos do enxofre, das doses e da interação enxofre x dose (Tabela 3). Em ausência do enxofre, observou-se um componente quadrático significativo, sendo que nesse caso, a dose 150 foi suficiente para um suprimento de fósforo adequado. Em presença do enxofre, observou-se um componente linear significativo. No caso do enxofre, somente a quantidade absorvida no tratamento que recebeu a dose 200 do hiperfosfato em mistura com enxofre, diferiu da testemunha (Tabela 2). A adição do enxofre ao hiperfosfato não teve efeito significativo nas quantidades desse elemento absorvidas pelo colônio (Tabela 2), nas duas menores doses de fosfato. Observou-se efeito significativo das doses de fósforo, sendo quadrático em ausência do enxofre e linear em presença do referido elemento. As quantidades de nitrogênio absorvidas devido à adição do enxofre do hiperfosfato, não diferiram das testemunhas para qualquer das doses de fósforo aplicadas (Tabela 2) embora tenha sido observado efeito significativo do enxofre (Tabela 3). Os aumentos das quantidades de nitrogênio absorvidas, em função das doses de fósforo, diferiram apenas em presença do enxofre, sendo observado um componente linear significativo. Não houve efeito interativo entre enxofre x dose (Tabela 3).

Tabela 3. Valores do teste F, obtidos pela análise dos efeitos do enxofre, das doses e da interação enxofre x dose, na produção de matéria seca, número de perfílhos e quantidade de fósforo, enxofre e nitrogênio na parte aérea do capim-colonião. Comparações ao nível de 5% de significância.

Fosfato	Efeito	Valores de F				
		P.Mat.Seca	Nº de Perfílhos	Fósforo	Enxofre	Nitrogênio
Catalão	Enxofre	11,97*	4,80*	17,31**	8,30**	4,23
	Dose	1,10	2,69	1,88	4,40	0,64
	Enxofre x Dose	1,32	0,03	1,58	0,018	1,63
Alvorada	Enxofre	154,33**	180,40**	173,12**	0,73	61,14**
	Dose	15,86**	16,61**	14,96**	0,37	3,77
	Enxofre x Dose	0,68	22,18**	2,40	1,85	6,88*
Hiperfosfato	Enxofre	11,82*	22,74**	82,87**	2,25	4,82*
	Dose	2,12	1,58	11,80**	6,12*	4,31*
	Enxofre x Dose	0,019	0,17	5,23*	20,87*	1,30

O hiperfosfato é considerado como um fosfato natural de eficiência relativamente boa, tendo propiciado bom desenvolvimento da planta, mesmo em ausência de enxofre. Mas a adição desse elemento melhorou o seu aproveitamento.

As melhores respostas do capim-colonião aos fosfatos naturais aplicados em mistura com enxofre evidenciam a dissolução dos fosfatos, principalmente quando se observam as quantidades de fósforo na parte aérea.

O pH das amostras de solo, retiradas por ocasião do último corte, manteve-se entre 5,0 e 5,5 (Tabelas 5 e 6), indicando que o H_2SO_4 formado pela oxidação do enxofre, não foi suficiente para induzir mudanças acentuadas no pH do solo, sendo aparentemente utilizado para dissolver partículas de fosfatos naturais.

4.3. Equivalente em Superfosfato Triplo

Para melhor avaliação dos fosfatos naturais, é conveniente comparar a eficiência dos mesmos com a do supertriplo. O equivalente em supertriplo pode ser definido como a quantidade de fosfato na forma de fosfato natural que propicia o mesmo rendimento ou absorção de fósforo que determinada dose de supertriplo (DYNIA, 1977, citado por KORNDÖRFER, 1978). O equivalente em supertriplo, quando expresso como porcenta

Tabela 5. Valores do pH de amostras do Latossolo Vermelho Amarelo, cultivado com capim-colonião durante 105 dias. Médias de três repetições.

Tratamento	pH
Supertriplo 0*	5,20
Supertriplo 50	5,30
Supertriplo 100	5,20
Supertriplo 150	5,20
Supertriplo 200	5,20

* 0, 50, 100, 150, 200 = mg de P_2O_5 /kg de solo.

Tabela 6. Valores do pH de amostras do Latossolo Vermelho Amarelo, cultivado com capim-colonião durante 105 dias. Médias de três repetições.

Tratamento	pH	
	Sem S ^{1/}	Com S
Catalão 100 ^{2/}	5,07	5,10
Catalão 150	5,00	5,10
Catalão 200	5,03	5,00
Alvorada 100	5,20	5,20
Alvorada 150	5,50	5,10
Alvorada 200	5,40	4,90
Hiperfosfato 100	5,20	5,20
Hiperfosfato 150	5,40	5,00
Hiperfosfato 200	5,50	5,00

^{1/} S = enxofre

^{2/} 100, 150, 200 = mg de P₂O₅/kg de solo

gem da dose utilizada, é chamado de eficiência relativa.

No presente trabalho, calcularam-se os equivalentes em supertriplo (dose 100 mg de P_2O_5 /kg de solo) e a eficiência relativa dos fosfatos naturais em ausência e presença do enxofre. Para o cálculo determinaram-se as equações de regressão e o coeficiente de correlação para a produção, número de perfilhos e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio absorvidas, em função das doses de fósforo aplicadas como superfosfato triplo, utilizando-se os dados da Tabela 1 (Figuras 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente).

Os equivalentes em supertriplo para cada dose do fosfato natural aplicada em ausência e em mistura com enxofre, foram calculados, substituindo-se os valores de produção, número de perfilhos e quantidades de fósforo, enxofre e nitrogênio, nas respectivas equações de regressão. A eficiência relativa foi calculada, considerando-se a dose 100 de supertriplo com 100% de eficiência e, em relação a esta, obteve-se o percentual dos equivalentes em supertriplo. Os valores percentuais dos equivalentes em supertriplo estão apresentados na Tabela 4. Como pode ser observado, para os três fosfatos naturais, a adição do enxofre aumentou a eficiência relativa.

Tabela 4. Equivalente em superfosfato triplo (dose de 100 mg de P_2O_5 /kg de solo) de três fosfatos naturais, adicionados ao solo em ausência e em mistura com en sofre elementar, expresso como eficiência relativa (%).

Tratamento	Produção		Nº de Perfilhos		Fósforo		Enxofre		Nitrogênio	
	Sem S	Com S	Sem S	Com S	Sem S	Com S	Sem S	Com S	Sem S	Com S
Catalão 100 ^{1/}	1,88	4,98	2,8	5,8	1,69	4,47	0,4	2,7	2,2	3,3
Catalão 150	3,46	7,39	7,1	11,0	3,28	7,88	1,9	7,5	4,3	5,4
Catalão 200	1,94	13,45	4,7	8,9	1,99	8,97	3,6	11,8	1,4	9,0
Alvorada 100	25,40	76,25	28,6	42,7	17,30	47,48	43,25	9,0	14,9	86,6
Alvorada 150	31,40	90,37	23,2	89,6	19,08	72,32	28,90	32,9	13,8	144,1
Alvorada 200	51,90	110,63	26,2	121,8	28,77	88,82	18,10	24,3	56,6	95,7
Hiperfosfato 100	71,85	108,82	59,3	109,7	48,49	85,80	34,4	21,6	47,5	48,4
Hiperfosfato 150	98,00	140,65	75,0	181,4	73,39	104,99	99,8	44,8	70,6	146,8
Hiperfosfato 200	82,85	121,95	69,0	128,1	60,56	137,45	13,9	131,1	60,3	114,7

^{1/} 100, 150, 200 = mg de P_2O_5 /kg de solo.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, neste experimento, permitem concluir o seguinte:

O fosfato catalão não mostrou dissolução significativa com a adição do enxofre e não foi eficiente em fornecer fósforo para suprir as necessidades da planta.

O hiperfosfato mostrou-se o mais eficiente dos três fosfatos mesmo sem a adição do enxofre, embora a presença deste tenha favorecido ainda mais a absorção do fósforo pelas plantas.

O fosfato alvorada propiciou desenvolvimento satisfatório do colônio e teve sua eficiência aumentada devido à adição do enxofre, nos três níveis de aplicação.

6. LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M., 1961. *Introduction to Soil Microbiology*. 4ª Ed. New York, John Willey & Sons. 472 pp.
- ANÔNIMO, 1979. Fertilizantes - Os fosfatados a um passo da autosuficiência. *Planejamento e Desenvolvimento*. 473:11-16.
- AZCÓN-G. de AGUILAR, C. e J.M. BAREA, 1978. Effects of interactions between different cultura fractions of "phosphobacteria" and *Rhizobium* on mycorrhizal infection, growth and nodulation of *Medicago sativa*. *Can. J. Microbiol.*, Ottawa, 24: 520-524.
- AZCÓN, R., J.M. BAREA e D.S. HAYMAN, 1976. Utilization of rock-phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria. *Soil Biol. Biochem.*, London, 8:135-138.

- BARBER, D.A. e B.C. LOUGHMAN, 1967. Uptake and utilization of phosphate by barley plants grown under sterile and non-sterile conditions. *J. Exptl. Botany*, Oxford, 18: 170-176.
- BARBER, S.A., 1966. The role of root interception, mass-flow and diffusion in regulating the uptake of ions by plants from soil. *Tech. Rep. Serv. Int. Atom. Energy Ag.*, USA, 65:39-45.
- BAREA, J.M., R. AZCÓN e D.S. HAYMAN, 1975. Possible synergistic interactions between Endogone and phosphate solubilizing bacteria in low phosphate soils. In: SANDERS, F.E.; B. MOSSE e P.B. TINKER Ed. *Endomycorrhizas*, London, Academic Press., p. 409-417.
- BAREA, J.M., E. NAVARRO e E. MONTOYA, 1976. Production of plant growth regulators by rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria. *J. Appl. Bacteriol.*, London, 40: 129-134.
- BATAGLIA, O.C., J.P.F. TEIXEIRA, P.R. FURLANI, A.M.C. FURLANI e J.R. GALLO, 1978. *Análise química de plantas*. Instituto Agronômico, Campinas, circular nº 87.
- BRAGA, N.R., H.A.A. MASCARENHAS, C.T. FEITOSA, R. HIROCE e B. VAN RAIJ, 1980. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 4:36-39.

- BROWN, M.E., 1972. Plant growth substances produced by microorganisms of soil and rhizosphere. *J. Appl. Bacteriol.*, London, 35:443-451.
- BUCHANAN, R.E., N.E. GIBBONS, S.T. COWAN, J.G. HOLT, J. LISTON, R.G.E. MURRAY, C.F. NIVEN, A.W. RAVIN e R.Y. STANIER ED., 1974. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 8ª Ed. The William & Wilkins Company, Baltimore, 1268 pp.
- BURNS, G.R., 1967. *Oxidation of sulfur in soils*. The Sulfur Institute, Tech. Bull., Washington, 13, 41 pp.
- CARVALHO, P.C.T., A.F. EIRA e D. PELLEGRINO, 1969. Solubilização quantitativa de fosfatos insolúveis, por algumas espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*. Anais da ESALQ, Piracicaba, vol. XXVI: 173-185.
- CHU, C.R., W.W. MOSCHLER e G.W. THOMAS, 1962. Rock-phosphate transformation in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 26: 476-479.
- COCHRAN, W.G., 1947. Some consequences when the assumptions for the analysis of variance are not satisfied. *Biometrics*, Richmond, 3:22-38.
- COOPER, R., 1959. Bacterial Fertilizers in Soviet Union. *Soils and Fertilizers*, Harpender, 22:327-333.

- COREY, R.B. e E.E. SCHULTE, 1973. Factors affecting the availability of nutrients to plants. In: WALSH, L.M. e J.D. BEATON. *Soil Testing and Plant Analysis*. Madison, Revised Edition of Soil Sci. Soc. Am. Inc. pp. 23-33.
- CGSGROVE, D.J., 1967. Metabolism of organic phosphate in soil. In: McLAREN, A.D. e G.H. PETERSON. *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker Inc., New York, p. 216-228.
- DOMMERGUES, Y. e F. MANGENOT, 1970. Transformations microbiennes du soufre. In: MASSON et C^{ie} Ed. *Écologie microbienne du sol.*, Paris, p. 233-258,
- DRAKE, M. e J.E. STECKEL, 1955. Solubilization of soil and rock-phosphate as related to root cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 19:484-487.
- DUFF, R.B., D.M. WEBLEY e R.O. SCOTT, 1963. Solubilization of minerals and related materials by 2-ketogluconic-acid producing bacteria. *Soil Sci.*, Baltimore, 95:105-114.
- DYNIA, J.F., 1977. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo nos solos na eficiência de adubos fosfatados UFRGS, Porto Alegre. (Tese de Mestrado).
- EIRA, A.F. e P.C.T. CARVALHO, 1970. Levantamento de microrganismos solubilizadores de fosfatos. *Rickia*, São Paulo, 5: 111-124.

- ELLIS Jr., R., M.A. QUADER e E. TRUOG, 1955. Rock-phosphate availability as influenced by soil pH. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 26:476-479.
- FEITOSA, C.T., B. VAN RAIJ, A.R. DECHEN e J.C. ALCARDE, 1978. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos para trigo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 2: 193-195.
- FISCHER, M.J. e M.J.T. NORMAN, 1970. Tests of phosphates from Rum Jungle Northern Territory. *Austr. J. Exptl. Agric. Anim. Husb.*, CSIRO, AUSTRALIA, 10:591-598.
- GERRETSEN, F.C., 1948. The influence of microorganisms on the phosphate intake by plants. *Plant and Soil*, The Netherlands, 1:51-81.
- JOFFE, J.S., 1922a. Studies of sulfur oxidation in sulfur-floats-soil mixtures. *Soil Science*, Baltimore, 13:107-118.
- JOFFE, J.S., 1922b. Preliminary studies on the isolation of sulfur-floats-soil composts. *Soil Science*, Baltimore, 13:161-172.
- JONES, R.K. e J.B.F. FIELD, 1976. A comparison of biosuperphosphate and superphosphate on a sandy soil in the monsoonal tropics of Northern Queensland. *Austr. J. Exptl. Agric. Anim. Husb.*, CSIRO, Australia, 16:99-102.

- KATZNELSON, H., E.A. PETERSON e J.W. ROUATT, 1962. Phosphate dissolving microorganisms on seed and in the root zone of plants. *Can. J. Botany*, Ottawa, 40:1181-1186.
- KAVIMANDAN, S.K. e A.C. GAUR, 1971. Effect of seed inoculation with *Pseudomonas* sp on phosphate uptake and yield of maize. *Current Sci.*, India, 40 (16): 439-440.
- KORNDÖRFER, G.H., 1978. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em fornecerem fósforo para plantas de trigo. *Faculdade de Agronomia, UFRS*. (Tese de Mestrado).
- LARSEN, S., 1967. Soil phosphorus. *Adv. Agronomy*, New York, 19:151-206.
- LARSEN, S., 1971. Residual phosphate in soils. *Tech. Bull. HMSO*, London, 20:34-41.
- LINCH, J.M. e L.J. AUDUS, 1976. Products of soil microorganisms in relation to plant growth. In: *CRC Handbook of Microbiology*, 5:67-107.
- LIPMAN, J.G., H.C. McLEAN e H.C. LINT, 1916. Sulphur oxidation in soils and its effect on the availability of mineral phosphates. *Soil Science*, Baltimore, 2:499-538.
- LIPMAN, J.G. e H.C. McLEAN, 1918. Experiments with sulphur-phosphate composts conducted under field conditions. *Soil Science*, Baltimore, 5:243-250.

- LOW, H.E. e D.M. WEBLEY, 1959. A study of soil bacteria dissolving certain mineral phosphates fertilizers and related compounds. *J. Appl. Bacteriol.*, London, 22:227-233.
- MALAVOLTA, E., 1952. Estudos químico-agrícolas sobre o enxofre. Anais da ESALQ, Piracicaba, vol. 9, separata nº 162.
- MALAVOLTA, E., J.C. ALCARDE e J.O. PONCHIO, 1976. Em torno da solubilidade dos fosfatos naturais. Ministério da Agricultura, Brasília, 39 pp.
- McLEAN, E.O. e R. WHEELER, 1964. Partially acidulated rock-phosphate as a source of phosphorus to plants. I- Growth chamber studies. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 28: 545-550.
- McLEAN, H.C., 1918. The oxidation of sulfur by microorganisms and its relation to the availability of phosphate. *Soil Science*, Baltimore, 5: 251-290.
- MOSSE, B., C.L.L. POWELL e D.S. HAYMAN, 1976. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX - Interactions between VA-mycorrhiza, rock-phosphate and symbiotic nitrogen fixation. *New Phitol.*, London, 76:331-342.

- NELLER, J.R., 1956. Effect of sulfur and gypsum additions on availability of rock-phosphate phosphorus in Leon Fine Sand. *Soil Sci.*, Baltimore, 82: 129-134.
- NIMGADE, N.M., 1968. Effect of mixing rock-phosphate with molten sulphur on phosphorus availability. In: *International Congress of Soil Science*, 9th, Australia, vol. II: 765-774.
- OCAMPO, J.A., J.M. BAREA e E. MONTOYA, 1975. Interactions between *Azotobacter* and "phosphobacteria" and their establishment in the rhizosphere as affected by soil fertility. *Can. J. Microbiol.*, Ottawa, 21:1160-1165.
- OLIVEIRA, M.L.C., E.S. LOPES, M.T.R. SILVA e V. NAGAI, 1977. Influência da oxidação microbiológica do enxofre na solubilização da apatita de Araxá. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1:24-28.
- POWELL, C.L.L. e J. DANIEL, 1978. Mycorrhizal fungi stimulate uptake of soluble and insoluble phosphate fertilizer from a phosphate-deficient soil. *New Phytologist.*, 80:351-358.
- QUINN, L.R., G.O. MOTT e W.V.A. BISSCHOFF, 1961. Fertilização de pastos de capim-colônião e produção de carne com novilhos zebu. *IBEC Research Institute*, New York, Bol. n^o 24. 40 pp.

- RAIJ, B. VAN e A. VAN DIEST, 1979. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant and Soil*, Netherlands, 51:577-589.
- RAMOS, A., V. CALLAO e P.C.T. CARVALHO, 1968. La solubilización de fosfatos por hongos del suelo. *Microbiol. Españ.*, Madrid, 21:23-27.
- ROVIRA, A.D., 1969. Plant root exudates. *The botanical Review*, CSIRO, Australia, 35:35-57.
- SANDERS, F.E. e P.B. TINKER, 1973. Phosphate flow into micorrhizal roots. *Pest. Sci.*, London, 4:385-395.
- SINGH, D., N.D. MANNIKAR e N.C. SRIVAS, 1976. Comparative performance of indigenous rock-phosphate and superphosphate with and without phosphobacterins. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, New Delhi, 24:182-185.
- SMITH, J.H., F.E. ALLISON e D.A. SOULIDES, 1961. Evaluation of phosphobacteria as a soil inoculant. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 25:109-111.
- SPERBER, J.I., 1957. Solution of mineral phosphates by soil bacteria. *Nature*, London, 180:994-995.
- SPERBER, J.I., 1958a. The incidence of apatite solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. *Austr. J. Agric. Res.*, Melbourne, 9:778-781.

- SPERBER, J.I., 1958b. Solution of apatite by soil microorganisms producing organic acids. *Austr. J. Agric. Res.*, Melbourne, 9:782-787.
- STOKLASA, J., 1911. Biochem, Kreislauf des Phosphat-Ions in Zbl Bakteriolog., 2:29, 385.
- SWABY, R.J., 1975. Biosuper - Biological superphosphate. In: McLACHLAN, K.D. Ed. *Sulphur in Australasian Agriculture*, pp. 213-220.
- SWABY, R.J. e M.I. VITOLINS, 1968. Sulphur oxidation in Australian Soil. In: *International Congress of Soil Science*, 9th, Australia, 4:673-681.
- TARDIEUX-ROCHE, A., 1968. Contribution à l'étude des interactions entre phosphates naturels et microflore du sol. Paris, Faculté des Sciences de l'Université de Paris. (Tese de Doutorado)
- TINKER, P.B., 1980. Role of rhizosphere microorganisms in phosphorus uptake by plants. In: KHASANNEH, F.E., E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH, *The role of phosphorus in agriculture*, ASA, CSSA, SSSA, Madison, p. 617-654.
- TINKER, P.B. e F.E. SANDERS, 1975. Rhizosphere microorganisms and plant nutrition. *Soil Science*, Baltimore, 119:363-368.

VOLKWEISS, S.J. e B. VAN RAIJ, 1976. Retenção e disponibilidade do fósforo em solos. In: *Simpósio sobre o Cerrado*, 49, Brasília, 1976. Ed. Itatiaia, B. Horizonte, p. 317-332.

WAKSMAN, S.A., 1922. Microorganisms concerned in the oxidation of sulfur in the soil. III - Media used for isolation of sulfur bacteria from the soil. *Soil Sci.*, Baltimore, 13:329-336.

WERNER, J.C., J.V.S. PEDREIRA e J.L. QUAGLIATO, 1967a. Ensaio exploratório de fertilização de capim-colonião com solo de Sertãozinho. *Bol. Ind. Animal*, São Paulo, 24:155-158.

WERNER, J.C., J.V.S. PEDREIRA e D. MARTINELLI, 1967b. Ensaio de fertilização do colonião com solo da Noroeste. *Bol. Ind. Animal*, São Paulo, 24:159-167.

WERNER, J.C. e H.P. HAAG, 1972. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. *Bol. Ind. Animal*, São Paulo, 29:191-245.