

UNIVERSIDADE ESTADUAL
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA SOBRE A
SOLUBILIZAÇÃO E A EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE
DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO**

VICENTE RODOLFO SANTOS CEZAR

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia – Área de
Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU
AGOSTO - 2001

Tudo o que acontece com a Terra,
acontece com os filhos e filhas da
Terra. O homem não tece a teia da
vida; ele é apenas um fio. Tudo o
que faz à teia, ele faz a si mesmo.

TED PERRY, inspirado no Chefe Seattle.

Dedico este trabalho especialmente a Deus, aos meus pais Vicente e Maria Aparecida, que em todos os momentos apoiaram os meus objetivos, e aos meus irmãos Mara Rúbia, Vinício e Rafael.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus que guiou a mim e a outras pessoas envolvidas na realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyras Villas Bôas pela orientação, acolhimento e amizade, conselho, atenção e muita paciência.

Ao professor Jorge de Lucas Júnior, pelos conhecimentos e amizade demonstrados.

Aos professores do curso de Energia na Agricultura que muito somaram ao meu aprimoramento.

Ao professor Dirlei Antonio Berto do Departamento de Exploração e Produção Animal da F.C.A, UNESP, Botucatu-SP e ao suinocultor Sérgio Marum pelo auxílio fornecido.

Ao Sr. José Carlos De Pieri, pela amizade, carinho, paciência e imensa ajuda profissional.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais (Ciência do Solo) da F.C.A, UNESP, Botucatu-SP: Adilson, Andreia, Dinha, Doriva, Edinho, Fátima, Gisele, Garcia, José Carlos, Jair, Maurício, Nei, Noel, Roberto, Rodrigo, Sônia.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da F.C.A - UNESP- Botucatu, pelo carinho e atenção.

Aos amigos Munir, Mauro (Mamona), Éber, João, General, Amauri, Renato (Capial), Fabrício e a todos os colegas.

A todos os momentos alegres e tristes vividos e proporcionados pelo curso de pós-graduação.

À minha namorada Suzan, com muito amor e carinho.

A CAPES pela concessão de bolsa durante o período de realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE SIMBOLOS.....	XII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Formas de fósforo nos solos tropicais e subtropicais.....	7
4.2 Efeito da matéria orgânica nas características do solo.....	9
4.3 Matéria orgânica e seu impacto ambiental, com ênfase aos dejetos da suinocultura.....	11
4.4 Utilização do resíduo orgânico proveniente da suinocultura.....	15
4.5 Efeito da temperatura sobre o desenvolvimento de plantas de milho.....	21
4.6 Efeito do biofertilizante no solo e no desenvolvimento de plantas.....	22
4.7 Eficiência de fertilizantes fosfatados.....	23
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
5.1Clima.....	26
5.2 Etapa I: Produção do biofertilizante.....	27
5.3 Etapa II: Aplicação do biofertilizante ao solo.....	30
5.3.1 Instalação do experimento.....	30
5.3.2 Tratamentos.....	32
5.3.3 Delineamento experimental.....	33

5.3.4 Semeadura e desbaste.....	34
5.3.5 Adubação de cobertura com nitrogênio.....	34
5.3.6 Colheita das plantas.....	34
5.3.7 Parâmetros avaliados.....	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
6.1 Efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização de fósforo.....	37
6.2 pH da mistura.....	41
6.3 Efeito da temperatura sobre o desenvolvimento das plantas de milho.....	42
6.4 Resultados quanto ao comprimento das plantas, diâmetro dos caules e teores de clorofila, em função das fontes de P aplicadas ao solo.....	43
6.5 Diâmetro das plantas de milho.....	46
6.6 Medida indireta de clorofila.....	46
6.6 redução de matéria seca da parte aérea das plantas de milho, em função das fontes de P aplicadas ao solo.....	47
6.8 Quantidade de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de milho, em função das fontes de fósforo aplicadas ao solo.....	50
6.9 Avaliação do índice de eficiência agrônômica das fontes de fósforo, relativos aos dados de produção de matéria seca total de parte aérea das plantas de milho.....	54
6.10 Avaliação do índice de eficiência agrônômica das fontes de fósforo, relativos aos dados de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de milho.....	57
6.11 Teores de fósforo nos solos.....	60
7 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	63

8 CONCLUSÕES.....	65
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1- Quantidade de resíduo produzido conforme a idade e peso dos animais.....	13
2- Composição química dos fertilizantes fosfatados utilizados para enriquecer o biofertilizante.....	28
...	
3- Resultados da caracterização do esterco de suíno utilizado no experimento para a produção do biofertilizante.....	28
4- Características químicas do solo utilizado no experimento.....	30
5- Análise química de micronutrientes do solo utilizado no experimento.....	31
6- Composição granulométrica do solo utilizado no experimento.....	31
7- Características químicas do solo utilizado após calagem.....	31
8- Análise química de micronutrientes do solo utilizado após calagem.....	31
9- Valores percentuais de P ₂ O ₅ obtidos pelos extratores água, ácido cítrico, citrato neutro de amônio e ácido nitro-perclórico (P ₂ O ₅ Total).....	39
10- Resultados dos teores de fósforo total no substrato, antes e após o processo da biodigestão anaeróbia.....	40
11- Valores de pH da mistura contida nos reatores, determinados para os respectivos ponto e época de coleta.....	41
12- Resultados morfológicos obtidos nos respectivos cultivos em função das fontes de P aplicadas ao solo.....	44

13- Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos consecutivos.....	47
14- Quantidade de fósforo obtida na parte aérea das plantas de milho submetidas às diferentes fontes de fósforo no solo em dois cultivos consecutivos.....	51
15- Resultado percentual do índice de eficiência agronômica, calculado com base na produção de matéria seca de parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos e pela soma dos mesmos.....	54
16- Resultado percentual do índice de eficiência agronômica, calculado com base na quantidade de fósforo extraível pela parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos..	58
17- Resultados das análises químicas dos solos submetidos às diferentes fontes de fósforo após dois cultivos consecutivos.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1- Seqüências metabólicas e grupos microbianos da digestão anaeróbia.....	18
2- Biodigestores utilizados na produção dos biofertilizantes.....	27
3- Valores de temperatura média encontrado para cada cultivo.....	42
4- Resultado dos teores de fósforo resina do solo, submetidos às diferentes fontes de fósforo e quantificadas após cada cultivo.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

C:	Controle (sem adubção com P)
ST:	Superfosfato Triplo
A:	Concentrado Apatítico
ES:	Esterco de Suíno
R1:	Esterco de Suíno + Superfosfato Triplo (biodigerido anaeróticamente)
R2:	Esterco de Suíno + Concentrado Apatítico (biodigerido anaeróticamente)
R3:	Esterco de Suíno (biodigerido anaeróticamente)
R3 + ST:	Esterco de Suíno + Superfosfato Triplo (mistura física)
R3 + A:	Esterco de Suíno + Concentrado Apatítico (mistura física)
IEA:	Índice de Eficiência Agronômica

1 RESUMO

Com o intuito de avaliar o efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização e a eficiência agronômica de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, foi desenvolvido um experimento no Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo em Botucatu (SP).

O estudo realizado foi dividido em duas etapas, onde a primeira constou da construção de três biodigestores e a produção de biofertilizantes enriquecidos ou não, pelas diferentes fontes de fósforo. O biofertilizante gerado foi caracterizado quimicamente em relação a sua solubilidade pelos diferentes extratores. Após a análise química, o biofertilizante foi utilizado na etapa seguinte, sendo aplicado ao solo e avaliado o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes quanto à produção de matéria seca da parte aérea e a quantidade de fósforo nas plantas de milho, as quais foram cultivadas durante 30 dias após a emergência. Foram realizados dois cultivos consecutivos, onde as fontes de fósforo foram aplicadas apenas no primeiro cultivo, na dose de $200 \text{ mg de P kg}^{-1}$ de solo.

Como conclusão do estudo obteve-se que: em virtude de alguns extratores não digerirem a matéria orgânica e esta interferir na determinação colorimétrica de P e também, pela dificuldade de se obter no reator amostras homogêneas do biofertilizantes.

Para a mistura das fontes de fósforo dentro do biodigestor: R1 [(Esterco de Suínos (ES) + Superfosfato Triplo (ST)] e [R2 (ES+ Concentrado Apatítico (A)] não diferiram, para os vários parâmetros avaliados, em relação a R3 (biofertilizante) + ST e R3 + A provenientes da mistura física, o que sugere para o concentrado apatítico que a biodigestão anaeróbica não afetou a solubilização do fósforo.

O Índice de Eficiência Agronômica (IEA) para a somatória dos cultivos, calculados com base na matéria seca apresentou valores de 6,6; 12,9 e 9,7% superiores a ST, respectivamente para os tratamentos R3, R1 e R3 + ST.

Para o IEA calculado a partir da quantidade de P na planta de milho, observou-se que em todos os tratamentos os valores foram inferiores ao ST (padrão), sendo que, os tratamentos que mais se aproximaram foram o R1 (ES + ST, biodigeridos anaerobicamente) e R3 + ST.

ANAEROBIC BIODIGESTION EFFECT ABOUT THE SOLUBILIZATION AND AGRONOMIC EFFICIENCY OF DIFFERENT PHOSPHOROUS SOURCES. Botucatu, 200. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: VICENTE RODOLFO SANTOS CÉZAR

Adviser: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

2 SUMMARY

An experiment was realized with the objective of evaluate the anaerobic digestion effect about the solubilization and agronomic efficiency of different phosphate fertilizer.

The research was realized in two phases, than the first was the construction of three reactors and the biofertilizer production.

The biofertilizer generated was characterized chemically relationship its solubility in different extractors. After the chemical analysis, the biofertilizer was used in the next phase, it being applicated into soil and it was evaluate about the agronomic efficiency of the phosphorous fonts, that dry matter production and phosphorous amount in the corn plants. The corn plants were cultivated during 30 days after its emergence.

Two consecutives cultivation were realized, where the phosphorous fonts were only applicated in the first cultivate (200mg P Kg^{-1} of soil).

The study conclusions were: because some extractor solutions used in the assays doesn't digest the organic matter present in the material, and yet, the difficult to have homogenous biofertilizer samples by reactors.

In the phosphorous sources mixed into reactors: R1 (swine manure (ES) + Triple Superphosphate (ST)) and R2 (ES + Apatite Concentrate (A)), don't differ in relation to R3+A providing by physic. That suggest, to apatite concentrate, the anaerobic digestion didn't affect the phosphorous solubilization.

The agronomic efficiency index (IEA) to cultives add, showed values of 6,6%, 12,9% and 9,7% high to ST, respectively to the treatments R3, R1 and R3+ST.

To IEA calculated by the phosphorous quantie, it showed that all treatments were less to ST (reference).

Keywords: Apatite concentrate, triple superphosphate, swine manure.

3 INTRODUÇÃO

O esgotamento da fertilidade do solo após várias épocas de cultivos sem reposição de nutrientes, bem como a exploração de áreas novas com solos de baixa fertilidade natural, tornaram a agricultura brasileira dependente de forma crescente e irreversível, de aplicações maciças de fertilizantes.

Os fertilizantes minerais são essenciais para o aumento ou mesmo para manutenção da produtividade das culturas. O aumento verificado nos últimos anos nos custos de produção vem desestimulando o seu uso em culturas de subsistência.

Os solos tropicais, principalmente os latossolos, apresentam limitações de ordem química para o adequado crescimento das plantas com destaque para os baixos teores de nutrientes e elevada capacidade de adsorção de fosfatos. As baixas eficiências da adubação fosfatada evidenciam a necessidade de se procurar alternativas, no que diz respeito às fontes, época de aplicação e localização do adubo.

O processo industrial da produção dos fosfatos solúveis apresenta fatores limitantes, sobretudo a matéria prima (recurso não renovável) e o enxofre, este quase que totalmente importado (Goedert & Souza, 1986).

Em decorrência desses fatores ligados à fabricação e à retrogradação da forma solúvel para formas insolúveis, alguns trabalhos tem indicado a viabilidade do uso de matéria orgânica e de microrganismos na solubilização de fosfatos (Waskman, 1963), bem como na redução das reações de fixação de fósforo (Leal & Velloso, 1973, citado por Scivittaro, 1993).

Relacionado com a necessidade de manejar e reciclar os dejetos de suínos de forma econômica e ambientalmente correta, juntamente com a devida importância do fósforo no ciclo vital somada à sua relevante carência nos solos tropicais e subtropicais, foi que o presente trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização e a eficiência agrônômica das diferentes fontes de fósforo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Formas de fósforo nos solos tropicais e subtropicais

O fósforo constitui cerca de 0,12 % da crosta terrestre. Esta presente em todas as rochas, solos, resíduos vegetais e na água, formando complexos com vários elementos.

O suprimento de fósforo para o mundo provém de depósitos minerais, sendo apatita de fórmula $(Ca_{10}(PO_4)_6(CO_3, F, OH)_2)$ o mineral predominante (Cathcart, 1980). No solo, concentrações relativamente altas são da ordem de 100 a 2000 ppm (Volkweis & Raij, 1977). A concentração de P pode variar devido ao material de origem, grau de intemperismo, matéria orgânica, reação do solo, microrganismos aeróbios e anaeróbios e seus metabólicos.

A quantidade de fósforo total no solo pouco esclarece a disponibilidade desse nutriente para o vegetal, uma vez que, quase a totalidade de P encontra-se na forma não assimilável pelos vegetais (Scivittaro, 1993).

O P no solo segundo Braga (1980), encontra-se associado à matéria orgânica (forma orgânica) ou fazendo parte de compostos inorgânicos (formas inorgânicas). A fração orgânica representa, em certos casos, a metade do total do elemento no solo, especialmente no horizonte superficial (Cabala, R. & Fassbender, 1970; Goedert et al., 1971; Fassbender, 1978; Gonçalves, 1984; Lopes, 1992), citado por Scivittaro, (1993).

O incremento do P na forma orgânica no solo está diretamente relacionado com o aumento de matéria orgânica do solo. Sabe-se que o aumento de fósforo orgânico do solo é atribuído ao manejo utilizado, tipo do material orgânico, origem do material, atividade microbiana. Muitas vezes, essa biociclagem do material orgânico, pode liberar mais fósforo do que no próprio intemperismo (Santos & Camargo, 1999).

Além do P ligado a compostos orgânicos, ocorre no solo P ligado aos óxidos de ferro e alumínio (fósforo ocluído) e ainda ao cálcio, formando fosfato de cálcio (Novais & Smyth, 1999).

Segundo Jorge (1972), cálcio, ferro e alumínio quando ligados ao fósforo, originam grande número de compostos cujos principais representantes são a apatita, a strengita e a variscita, diminuindo a disponibilidade de P às plantas.

Bolan et al (1994) e Kiehl (1998), relataram que as menores gerações de formas ocluídas ou precipitadas (fosfato de cálcio) são atribuídas aos quelatos e a complexos organometálicos, os quais são importantes componentes do húmus da matéria orgânica.

4.2 Efeito da matéria orgânica nas características do solo

A matéria orgânica é responsável por algumas reações químicas que ocorrem no solo, como complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, influência na capacidade de troca catiônica e pH, além de fornecer nutrientes às plantas.

Segundo alguns autores (Ahmad & Tan, 1986; Hue & Amien, 1989; Bessho & Bell, 1992; Miyazawa et al., 1993; Hunter et al., 1995; Wong et al., 1995), a matéria orgânica do solo pode apresentar um efeito semelhante ao da calagem, em termos de correção de acidez e neutralização de níveis tóxicos de alumínio.

O aumento de pH do solo, devido a adição de resíduos orgânicos, tem sido atribuído à própria adsorção de Hidrogênio e Alumínio na superfície do material orgânico (Hoyt & Turner, 1975), e as trocas de ligantes ocorrem entre OH (hidroxilas) terminais de óxidos de ferro e alumínio com os ânions orgânicos (Hue & Amien, 1989; Helyar, 1991; Hue, 1992).

Hoyt & Turner (1975), afirmaram que ao adicionar matéria orgânica ao solo, ocorre a diminuição da quantidade e níveis de toxicidade do alumínio trocável aos vegetais.

Segundo Bloom et al. (1979), os resíduos orgânicos não podem ser considerados substitutos satisfatórios do calcário em virtude de que seus efeitos são temporários, a não ser que sejam incorporados anualmente ao solo em grandes quantidades.

A matéria orgânica quando aplicada ao solo, não somente favorece as características químicas, mas, está diretamente relacionada com as características físicas e biológicas do solo.

Santos & Camargo (1999), relataram que a matéria orgânica do solo influencia na agregação do mesmo, o que indiretamente afeta as demais características

físicas do solo, como por exemplo, densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e a infiltração de água. Outra capacidade atribuída a matéria orgânica diz respeito às características biológica do solo, como fonte de carbono, energia e nutrientes.

Os efeitos da matéria orgânica sobre os microrganismos do solo, podem ser avaliados a partir da biomassa e atividade microbiana, parâmetros que representam uma integração de efeitos desta sobre as condições biológicas do solo (Cattelan & Vidor, 1990).

Em sistema de plantio direto, verificou maiores valores de biomassa e atividade microbiana, estimada a partir da liberação de CO₂.

Além dessas vantagens, a matéria orgânica do solo exerce importante função sobre a liberação do fósforo ocluído ou de fósforo contido e adicionado ao solo através da adubação fosfatada. Não há mais dúvida, no sentido que a matéria orgânica do solo aumenta a disponibilidade de fósforo. Todavia é sempre oportuno relatar experimentos cujas conclusões vêm reafirmar efeitos benéficos da mesma.

O aumento da disponibilidade de fósforo em solos que receberam matéria orgânica foi evidenciado no trabalho de El Baruni & Olsen, 1979. Observaram que misturando previamente o esterco de bovino com superfosfato simples, houve aumento na disponibilidade de fósforo para a planta de milho quando comparados com os fertilizantes orgânicos e minerais usados separadamente.

Santos et al. (1992), estudaram o efeito da adição de composto orgânico de lixo urbano, suplementado com superfosfato triplo e inoculado com *Bradyrhizobium* na cultura do caupi, e concluíram que os resultados encontrados foram semelhantes aos determinados na fonte mineral NPK.

Kirk et al. (1998), citaram que a disponibilidade de fósforo é aumentada, devido a liberação de ácidos orgânicos sintetizados no processo biológico de

decomposição da matéria orgânica. Descreveram ainda, que os ácidos orgânicos oriundos do processo quelatam o ferro e o alumínio, liberando o fósforo da forma ocluída a qual é encontrada na maioria dos solos tropicais.

Leal & Velloso (1973), citado por Scivittaro (1993), atribuem este comportamento à presença de radicais livres que bloqueiam as hidroxilas expostas na superfície de óxidos de ferro e alumínio, reduzindo a capacidade de retenção de fósforo dos solos.

Nahas (1991), relata que geralmente são os ácidos orgânicos que apresentam cargas negativas, e que os mesmos se complexam aos íons de carga positiva, como por exemplo cálcio, magnésio, ferro e alumínio, liberando fosfato para solução do solo. Ainda o autor descreve em seu trabalho que são os açúcares, compostos aromáticos e substâncias húmicas que apresentam características quelantes.

4.3 Matéria orgânica e seu impacto ambiental, com ênfase aos dejetos da suinocultura

Devido ao crescimento populacional, aliado as técnicas e aos manejos utilizados nas explorações agrícolas, obtém-se dia a dia, o aumento da produção de resíduo orgânico, o qual quando aplicado no solo ou cursos d'água de maneira irracional, compromete a qualidade dos mesmos.

A conscientização do problema gerado pelo acúmulo de resíduos, derivados da atividade humana no meio rural e urbano, foi iniciada na década de 60 em vários países. Na década de 70, surgiu a necessidade da adoção de práticas adequadas para o descarte de resíduos produzidos pelas agroindústrias suco alcooleiras, destacando-se entre eles a vinhaça (Tedesco et al., 1999).

Os mesmos autores comentam que a partir desse problema, surgiu na década de 80 a necessidade de tratamento dos resíduos orgânicos urbanos e industriais, com ênfase ao lodo de esgoto, lixo urbano e resíduo de curtume.

Na década de 90 o que gerou grandes problemas ao país, foram as grandes quantidades de dejetos, geradas na produção de suínos.

Os problemas sanitários gerados pelos resíduos produzidos na suinocultura têm despertado o interesse de diversos pesquisadores, no que se refere ao estudo do potencial poluente e produção de odores, quando manejados de forma inadequada (Hammond et al.,1989).

Konzen (1983) descreveu que a quantidade total de dejetos produzidos varia conforme o desenvolvimento ponderal dos suínos, apresentando valores decrescentes de 8,5% a 4,9 % de seu peso/dia, considerando a faixa compreendida entre 15 e 100 kg de peso vivo, e sendo distribuídos por fezes e urina, água desperdiçada nos bebedouros e higienização, resíduos de ração, pêlos e poeira decorrentes do sistema criatório. Sabe-se que a quantidade de dejetos produzida, está diretamente relacionada à quantidade de água ingerida, água consumida na limpeza das baias e desperdiçadas pelos bebedouros. Em geral, suínos em fase de crescimento e terminação consomem ao redor de 5,5 L de água / animal. dia e produzem de 2 a 2,5 L de urina (Kozen, 1983). No quadro 1, de acordo com Ng et al. (1989) citado por Toledo (1996), foram descritas as quantidades aproximadas de resíduo orgânico produzida conforme o peso e a idade dos animais.

Quadro 1- Quantidade de resíduo produzido conforme a idade e peso dos animais.

Idade do animal	Peso animal	Fezes	Urina	Total	Volume Total
Semanas	(kg)	----- $(\text{kg dia}^{-1})\text{kg animal}^{-1}$ -----		-----	$(\text{m}^3\text{dia}^{-1})\text{kg animal}^{-1}$
3-8	5,5-18,5	0,027	0,058	0,085	0,0463
8-12	18,2-36,4	0,043	0,048	0,091	0,0495
12-16	36,4-54,6	0,054	0,061	0,115	0,0627
16-20	54,6-72,7	0,046	0,58	0,104	0,0568
20-23	72,7-91,0	0,047	0,051	0,098	0,0531

A quantidade de dejetos pode variar de acordo com manejo adotado.

Silva (1973), avaliando o confinamento de suínos, verificou que o consumo de água animal/dia foi de 8 a 10 L, quando os pisos eram lavados diariamente antes de se administrarem às rações. Considerando, as citações de Konzen (1983), as porcas em reposição, pré-cobrição e gestantes produzem 3,6 kg de esterco/animal/dia; 11 kg de esterco + urina/animal/dia e porcas em lactação com leitões produzem 6,4 kg de esterco/animal/dia e total de 18 kg de esterco/animal/dia quando avaliado esterco + urina/animal/dia.

Para quantificar o volume de dejetos gerado animal/dia no Brasil, e a amplitude do problema, bastam ater-se às citações de Ishizuka (2000). O autor relatou que o rebanho nacional é de aproximadamente 35 milhões de suínos, apresentando alta densidade de suínos nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, com acelerado desenvolvimento em São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Minas Gerais, despertando a preocupação dos estudiosos, nestes locais, devido a grande quantidade de dejetos gerados. Por outro lado, também as conseqüências negativas do manejo e disposição inadequados destes resíduos, como, por exemplo, à descarga direta no cursos d'águas, geram riscos sanitários e de poluição.

Nos estados dos E.U.A, Loher (1971) relatou que a principal fonte de contaminação dos cursos d'água e do solo em áreas rurais foram os confinamentos de

suínos. Cita ainda, que os pesquisadores revelaram concentração de nitrogênio - nitrato de 200 gramas por m² de solo, sendo que a concentração normal é de 5,0 a 15,0 g/ m² de forma que a contaminação dessas áreas por nitratos permanece mesmo depois da retirada dos animais.

Segundo Sharpley & Halvorson (1994), a presença de nutrientes como nitrogênio, fósforo e carbono nestes resíduos podem causar a eutroficação de rios, lagos, reservatórios e estuários.

Estes nutrientes quando lançados nos corpos receptores aquáticos podem aumentar a atividade vegetal aquática a ponto de suas necessidades de oxigênio ultrapassarem a demanda requerida para a estabilizar a porção original do resíduo lançado, especialmente, a atividade fotossintética que é diminuída ou interrompida, o que ocorre durante a noite (Sharpley & Halvorson, 1994).

Aliado ao problema de eutroficação, existe a possibilidade de contaminação do solo e do lençol freático pela presença de microorganismos patogênicos nos resíduos.

Silva (1973), citou trabalhos que fazem referência ao N.M.P. (número mais provável) de coliformes e *Streptococcus* dos excrementos de suínos, chegando às seguintes contagens: coliformes = $3,3 \times 10^6$ /g (fecais) e 8900×10^6 /g (totais); *Streptococcus* N.M.P.= 84×10^6 /g (fecais) e 230×10^7 /g (totais).

Com a putrefação da matéria orgânica contida nos dejetos de suínos, ocorre a liberação de alguns gases com odores desagradáveis, atraindo moscas e conseqüentemente tornando-se um incômodo ao homem e aos animais (Hammond et al., 1989).

Outro efeito do irregular uso dos dejetos de suínos proveniente da suínocultura é o lançamento dos mesmos nos cursos d'água receptores sem um tratamento

biológico adequado, podendo haver o consumo do oxigênio dissolvido e aletrar o pH natural do meio devido à presença de NH_3 (Paula, 1982).

4.4 Utilização do resíduo orgânico proveniente da suinocultura

O interesse no aproveitamento dos resíduos orgânicos gerados no meio rural, não se justifica somente pelos aspectos de reciclagem de nutriente, mas na importante função de saneamento.

Thame (s.d.), relata que investir em saneamento é investir em saúde preventiva e economizar em saúde curativa, sendo uma questão de saúde pública e bem-estar social.

De acordo com Paula (1982), também se deve considerar o apreciável volume produzido e seu potencial energético, que é perdido quando não se utiliza o resíduo na fertilização do solo, devido seu teor de matéria orgânica e nutriente.

Mas como todo material orgânico produzido pela suinocultura, não deve ser aplicado no solo ou em cursos d'águas sem antes sofrer um tratamento, podendo ser utilizadas as mais diversas técnicas de tratamento.

Devido às características dos resíduos gerados pela suinocultura a técnica mais adotada para este tipo de material é biodigestão anaeróbia. O interesse pela biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos líquidos e sólidos provenientes do confinamento de suínos tem aumentado nos últimos anos, devido apresentar vantagens significativas quando comparados aos demais métodos de tratamentos aeróbios, utilizados para águas residuárias ou mesmo pelo processo convencional de compostagem aeróbia de materiais orgânicos sólidos (Prette, 1991; Nogueira, 1986). Também é notável que o processo de biodigestão anaeróbia é destacado principalmente pelo tratamento de águas residuárias, sendo que o processo de fermentação anaeróbia produz mais energia do que

consome, requerendo menor custo de operações, apresentando baixa produção de biomassa quando comparada com a compostagem no processo aeróbio (Nogueira, 1986).

A digestão anaeróbia pode ser utilizada no tratamento tanto de resíduos sólidos como líquidos. Promove a redução do poder poluente e aos riscos sanitários dos dejetos, tendo como subproduto o biogás e o biofertilizante com várias aplicações práticas na propriedade rural (Toledo, 1996).

Segundo Medina (1989), a digestão anaeróbia é eficiente na eliminação de odores desagradáveis que caracterizam os dejetos de suínos, pois os principais componentes químicos (fenóis, p-cresóis, indóis, etc...), os quais produzem esses odores, são eliminados durante o processo, sendo muito importante do ponto de vista sanitário e ambiental, no controle de moscas transmissoras de doenças aos animais e aos homens.

Speece (1983), afirma que o processo de biodigestão anaeróbia é eficiente na estabilização da matéria orgânica, quando em perfeitas condições de funcionamento. O mesmo autor descreve que o biofertilizante apresenta qualidade igual ou superior ao produto produzido pelo sistema de tratamento aeróbio.

Autores como Fischer et al. (1981), Miranda, (1991), Toledo & Lucar Jr., (1997), indicam que a melhor alternativa ao tratamento dos dejetos gerados pela suinocultura, vem a ser o emprego da biodigestão anaeróbia, mediante o uso de biodigestores ou reatores anaeróbios.

Fischer et al. (1981), simularam um sistema de confinamento de suínos, que permitisse a comercialização de 3200 porcos por ano, onde para isso, foi necessário a utilização de 351kg de dejetos de suíno/dia em um sistema anaeróbio de tratamento, o qual proporcionou auto-suficiência energética com a utilização do biogás e o aproveitamento do biofertilizante para a obtenção de alimento.

No processo de digestão anaeróbia ocorre um consórcio de microrganismos, os quais desenvolvem metabolismos coordenados e independentes e contribuem para a estabilidade do sistema.

O processo é constituído de três etapas: hidrólise e fermentação, acetogênese e homocetogênese, e metanogênese, como ilustrado na Figura 1 (Rivera-Ramirez et al. 1993, citado por Iamamoto, 1999).

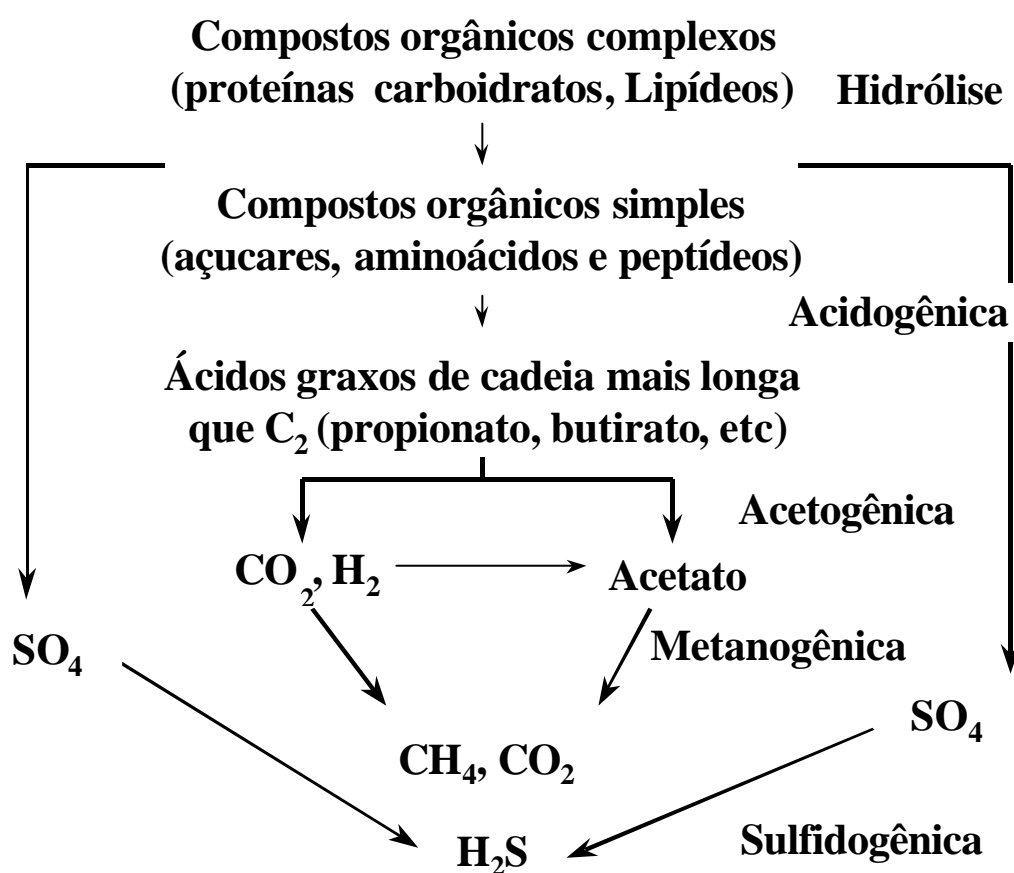


Figura 1- Sequências metabólicas e grupos microbianos da digestão anaeróbia, (Rivera-Ramirez et al. 1993, citado por Iamamoto, 1999).

Na primeira etapa, a matéria orgânica complexa é transformada em açúcares, aminoácidos e peptídeos pelas bactérias fermentativas através da hidrólise de

polímeros, estes basicamente são constituídos por moléculas de cadeias longas, como por exemplo, a celulose um carboidrato de origem vegetal muito comum, principalmente nos resíduos agrícolas (Durand et al., 1988). Na segunda etapa estes são transformados em ácidos orgânicos voláteis, álcoois, gás carbônico e hidrogênio. Nesta etapa geralmente, quando se trata da fermentação de compostos facilmente hidrolizáveis, há a necessidade de controle do pH, devido à rápida acidificação do meio aquoso, inibindo o crescimento de outras bactérias, principalmente as metanogênicas (Rivera-Ramirez et al., 1993).

A fase intermediária é executada por meio de associação sintrófica entre bactérias consumidoras de hidrogênio (hidrogenotróficas homoacetogênicas) e bactérias acetogênicas produtoras obrigatórias de hidrogênio ou redutoras de prótons.

As bactérias acetogênicas utilizam o etanol e outros produtos intermediários para produzir dióxido de carbono, hidrogênio e acetato (Hobson et al., 1984). Também nesta etapa ocorre a formação do ácido acético e propiônico, sendo gerada grande quantidade de hidrogênio, contribuindo assim para uma diminuição no valor de pH do meio (Chernicharo, 1997).

Numa última etapa, dentre os produtos metabolizados nas etapas descritas, somente o hidrogênio e o acetato poderão ser usados diretamente pelas bactérias metanogênicas, gerando metano. De acordo com Stams (1994) as bactérias metanogênicas dividem-se em decorrência da afinidade entre o substrato e a produção de metano em:

- a.** metanogênicas acetoclásticas- utilizadoras de acetato;
- b.** metanogênicas hidrogenotróficas- utilizadoras de hidrogênio;

A formação do metano e biofertilizante como produto final do processo de estabilização anaeróbia, depende da existência de populações microbianas com funções metabólicas distintas, e em proporções tais que permitam a manutenção do fluxo do substrato e energia sob controle (Colen, 1999).

O processo de biodigestão anaeróbia esta sendo utilizada por vários países, devido sua capacidade de estabilizar grande volume de matéria orgânica, com pequena produção de biomassa, alta taxa de destruição de patógenos e produção de metano.

Neste sistema tradicional de digestão anaeróbia, tanto a fase ácida, quanto a fase metanogênica ocorrem no mesmo reator. Mas, as pesquisas geradas a partir da década passada, demonstram que com as separações das fases, foi possível melhorar a eficiência do processo, no que diz respeito à remoção da carga orgânica poluente e obtenção de metano.

O processo de duas fases mantém as populações microbianas de digestão ácida e metanogênica em reatores separados, sendo utilizados para obtenção dessa separações de fases o controle cinético e o de pH (Toledo, 1996).

Cereda (1994), constata a ocorrência da fase ácida quando se utiliza material orgânico rico em carboidratos e de fácil fermentação, promovendo o desequilíbrio entre as taxas de produção e consumo dos ácidos orgânicos produzida na mesma.

Segundo Novaes (1986), nesta fase os microrganismos convertem substâncias orgânicas em ácidos orgânicos voláteis, geralmente são as bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Butirivibrio*, *Eubacterium* e *Lactobacillus* os microrganismos responsáveis por esta transformação. Portanto, são produzidos nesta fase os ácidos acéticos, propiônico, isobutírico, n-butírico, isovalérico, n-valérico e ácido capróico (Banerjee et al., 1998) e com menor produção o ácido fórmico, láctico e álcoois (Andrews & Pearson, 1965).

Com a elevação da taxa de produção de ácidos orgânicos ocorre o decréscimo do pH do substrato, conseqüentemente esse decréscimo favorece a fase ácida do processo, podendo permanecer por um longo período até que ocorram as condições

ideais de pH necessário para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas (Lacerda, 1991).

Gould & Genitelli (1975), citado por Carliell & Wheatley (1997), relatam que os compostos orgânicos gerados pela decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos exercem influência sobre os minerais contidos na mistura, sendo o fósforo o principal nutriente estudado.

Gould & Genitelli (1975), observaram a dificuldade de fracionamento do elemento fósforo contido no substrato. Em seu estudo, os autores conseguiram quantificar somente 90% do P do efluente, devido às formas complexas encontradas nos materiais dentro dos reatores, em função da atividade microbiana existente, podendo ser encontrado tanto na forma precipitada como co-precipitada, por exemplo, íons solúveis adsorvidos aos minerais ou em compostos orgânicos e também íons absorvidos e acumulados nos microrganismos.

Rantala & Wirola (1997), constataram que foram os microrganismos os responsáveis em imobilizar o fósforo solúvel dentro do reator anaeróbio.

Morse et al. (1998), estudaram o comportamento do fósforo em reatores anaeróbios e evidenciaram que com a adição de cálcio, houve a formação de fosfato de cálcio, o qual se precipitou no reator.

4.5 Efeito da temperatura sobre o desenvolvimento de plantas de milho

Gardioli et al. (2000), comenta que área cultivada com milho no Brasil é de aproximadamente 14 milhões de hectares, esse fato é associado a grande disponibilidade de híbridos no mercado, resultando em épocas de semeadura que variam de

região para região. Os híbridos de milho muitas vezes são selecionados em função da temperatura do local, de cultivo.

Os autores ainda comentam que a cultura do milho é dependente de condições de temperatura ideais e ocorrência de chuva, porque somente 10 % da área cultivada no Brasil são irrigadas.

Costa (1994), confirmou que os fatores climáticos como temperatura do ar e do solo, chuva, radiação solar e fotoperíodo influenciam o desenvolvimento da cultura do milho, sendo a temperatura o elemento climático mais importante para prever os eventos fenológicos da cultura, desde que não haja deficiência hídrica.

Mundstock (1970), Brunini et al. (1983), Berlato et al. (1984) e Garcia (1993), citado por Gardioli (2000) são alguns dos autores que evidenciaram o efeito da temperatura no crescimento e desenvolvimento da planta de milho.

Hayhoe et al. (1996), relataram a influência da temperatura do solo sobre a emergência de plantas de milho.

Stone et al. (1999), constataram o efeito da temperatura sobre o crescimento do meristema das plantas de milho e soja.

4.6 Efeito do biofertilizante no solo e no desenvolvimento de plantas

Segundo De Andrade (1996), a literatura relativa aos estudos de diferentes resíduos orgânicos, aplicados aos solos, é ampla, e aborda vários aspectos das interações com o solo e com a produtividade das culturas.

Chukanov (1986), estudou a produtividade e os teores de nutrientes de várias culturas, sob a rotação de culturas ou monoculturas, comparando a adubação mineral com o esterco líquido e concluiu que o teor de nutrientes por matéria seca

aumentou sob ambos os tratamentos, porém maior produtividade foi atingida sob adubação de esterco líquido.

Oliveira (1986), estudou o efeito da aplicação de biofertilizante bovino nas culturas de feijão, arroz e trigo. Neste estudo o biofertilizante reduziu a densidade do solo e aumentou a atividade microbiana, incrementando assim, a fixação de nitrogênio. A aplicação do biofertilizante ao solo aumentou o pH, o fósforo, o potássio e resultou ainda, em maior rendimento para as três culturas em estudo, em relação aos outros fertilizantes testados.

Galbiatti (1992), citado por De Andrade (1996), relataram o efeito do uso contínuo de efluente de biodigestor de origem bovina sobre algumas características físicas do solo e o comportamento do milho, verificando que os tratamentos que receberam incorporação de biofertilizante ao solo, apresentaram menor densidade aparente na camada 0-20 cm, maior velocidade de infiltração de água no solo, melhor desenvolvimento da área foliar e maior acúmulo de matéria seca nas folhas.

4.7 Eficiência de fertilizantes fosfatados

Do ponto de vista agrônômico o que melhor avalia os fertilizantes fosfatados é sua característica de eficiência no fornecimento de fósforo às plantas, fato diretamente relacionado à capacidade do fertilizante fosfatado em promover acréscimos de rendimento, por unidade de fósforo adicionado (Goerdet & Lobato, 1984). Deste modo, os efeitos dos fertilizantes fosfatados são dependentes dos fatores pedológicos e climáticos, principalmente no que diz respeito ao manejo e a relação solo-planta. Sabe-se que a eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados pode variar conforme seu material de origem, tipo de fonte e a sua granulometria.

A eficiência agronômica do fosfato é em geral, calculada pela comparação com uma fonte de referência (Morel & Fardeau, 1990), como os superfosfato simples e o triplo (Raij, 1986).

Scivittaro et al. (1997), relataram que no Brasil as pesquisas para avaliação da eficiência agronômica das fontes de fósforo, aumentaram a partir do início da década de setenta, em face da elevação dos preços dos fertilizantes fosfatados solúveis e da dependência do país pelo enxofre, nutriente totalmente importado. Desde essa época a procura por fontes alternativas e sua respectiva eficiência no suprimento de fósforo as plantas tem sido uma preocupação constante.

Segundo Korndörfer et al. (1999), as fontes de fósforos são divididas basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo.

Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de “adsorção” ou “fixação” de P. Já os fosfatos naturais, que são insolúveis em água, e em geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis (industrializados) a curto prazo, porém a longo prazo seu efeito residual é geralmente maior (Korndörfer, 1978).

A eficiência dos fosfatos de rocha esta intimamente relacionado com o grau de substituição de fosfato (PO_4^{-3}) por carbonato (CO_3^{-2}), que gera instabilidade na estrutura cristalina (Lehr & McClellan, 1972). A dureza da estrutura cristalina é tão importante que as rochas fosfáticas de origem ígnea, como na maioria das rochas nacionais, são reconhecidas por sua menor reatividade para aplicação direta como fertilizante.

No tocante aos trabalhos para o estudo da eficiência de fontes de fertilizantes fosfatados no Brasil, geralmente observa-se destinados às fontes

industrializadas, onde por sua vez, apresentam custo elevado de produção (Defilippe, 1990).

Silva et al. (1988), descreveu que os fertilizantes fosfatados industrializados, tanto os fluídos como os sólidos, possuem eficiência semelhante quando utilizados nas mesmas doses de nutrientes.

Por outro lado, até o momento, há carência de estudos para a análise da eficiência agronômica de fontes orgânicas ou organominerais no fornecimento de fósforo as plantas. No entanto, alguns trabalhos já realizados, comprovam a eficiência das fontes organominerais em fornecer P para a solução do solo, como por exemplo, o trabalho realizado por Peixoto et al. (1987), onde os maiores valores de eficiência agronômica foram encontrados no composto que recebeu o superfosfato triplo no início da compostagem. Os autores argumentam que o composto fornece uma certa proteção contra as propriedades adsorptivas dos colóides do solo ou insolubilização temporária do fósforo, aumentando a disponibilidade deste nutriente para a planta.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, o experimento apresentou duas etapas distintas, sendo descritas na sequência cronológica em que foram realizadas. Ambas as etapas foram desenvolvidas no Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas “Campus” UNESP-Botucatu, São Paulo (Latitude 22°51' Sul, Longitude 48°27' Oeste e altitude 786 m).

5.1 Clima

O município de Botucatu-SP, segundo classificação de W. Köppen, é considerado como sendo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno, e a temperatura média mais quente superior a 22°C (Cunha et al., 1999).

5.2 Etapa 1: Produção do Biofertilizante

Para a produção do biofertilizante enriquecido com diferentes fertilizantes fosfatados, foram construídos três biodigestores “modelo batelada” como mostra a Figura 2. Os materiais utilizados para a construção desses biodigestores foram: recipientes plásticos com capacidade de 200 litros, tubos e conexões de PVC, mangueiras e torneiras especiais para gases.



Figura 2- Biodigestores utilizados na produção dos biofertilizantes.

Os fertilizantes fosfatados e o esterco de suínos utilizados no experimento foram analisados segundo LANARV (1988) e seus resultados, são apresentados nos quadros 2 e 3.

Quadro 2- Composição química dos fertilizantes fosfatados utilizados para enriquecer o biofertilizante.

Fertilizantes fosfatados	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Cálcio	Ferro
	Total	CNA ¹	AC ²	água		
-----(g kg^{-1})-----						
Superfosfato Triplo	466	420	0	380	----	----
Concentrado Apatítico	363	11	40	0	345	45

¹ Citrato neutro de amônio + água.

² Ácido cítrico a 2% na relação de 1:1000.

Quadro 3 Resultados da caracterização do esterco de suíno utilizado no experimento para a produção do biofertilizante.

Determinações analíticas	Resultados
	(%)
Sólidos totais	21,3
Matéria orgânica (em mufla)	72,2
Umidade (65 °C)	70,7
Umidade (65° a 110 °C)	8,0
Teores Totais	(g kg^{-1})
Carbono (em mufla)	400
Nitrogênio	26
K ₂ O	16,8
Cálcio	74,1
Magnésio	11,5
Enxofre	1,0
Fósforo	12,3
	(mg kg^{-1})
Cobre	550
Manganês	474
Ferro	1944
Zinco	1692
Sódio	2400
pH (CaCl ₂ 0,01 M)	6,9
Relação C/N	15/1

Os reatores foram abastecidos da seguinte forma:

• **Reator 1 (R1):** abastecido com 60 quilos de esterco de suínos + 100 gramas de fósforo (Superfosfato Triplo), diluído em H₂O até atingir a concentração de 8% de sólidos totais.

• **Reator 2 (R2):** abastecido com 60 quilos de esterco de suínos + 100 gramas de fósforo (Concentrado Apatítico), diluído em H₂O até atingir a concentração de 8% de sólidos totais.

• **Reator 3 (R3):** abastecido com 60 quilos de esterco de suínos, diluído em H₂O até atingir a concentração de 8% de sólidos totais.

Após o abastecimento dos reatores em intervalos de 15 em 15 dias até completar 60 dias, foram coletadas amostras em dois pontos dos reatores para a determinação do pH. Em seguida foram efetuadas análises de fósforo solúvel em água, ácido cítrico, citrato neutro de amônia e fósforo total da amostra, de acordo com metodologia proposta no LANARV (1988).

Na quinta coleta de amostra, correspondente ao sexagésimo dia, os materiais foram retirados dos reatores e peneirados em peneiras de 2mm e de 0,250 mm, e em seguida secos em temperatura ambiente. Essa separação ocorreu porque a amostragem do material submetido ao biodigestor não era homogênea, apresentando uma parte sólida e outra líquida, que dificultava obter uma amostra que representasse quimicamente, o teor de P contido no biodigestor.

Após a secagem dos materiais, foram coletadas amostras segundo metodologia citada por Kiehl (1985) e analisadas quimicamente de acordo com a metodologia citada por LANARV (1988). O material líquido, não retido na peneira também foi analisado, utilizando a mesma metodologia. Após as análises dos materiais, foi

realizada mistura da parte sólida com a líquida dos seus respectivos tratamentos, as quais foram utilizados na etapa II do experimento.

5.3 Etapa II: Aplicação do biofertilizante ao solo

Essa etapa correspondeu à aplicação das várias misturas de biofertilizantes mais fósforo no solo para avaliar a sua utilização pela planta de milho.

5.3.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 20 litros, em casa de vegetação, com ventilação, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências agrônômicas - UNESP “Campus” de Botucatu/São Paulo. Os vasos foram preenchidos com 16 kg da camada superficial de um Latossolo Vermelho escuro álico textura média de baixa fertilidade natural (Carvalho et al., 1983), denominado pela nova nomenclatura como Latossolo Vermelho.

As principais características químicas do solo analisado foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983), sendo utilizadas para as análises físicas metodologia citada por Camargo et al. (1986). Os resultados são apresentados nos quadros 4, 5 e 6.

Quadro 4- Características químicas do solo utilizado no experimento.

pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	-----mmol _c .dm ⁻³ -----						(%)
3,7	19	3	80	0,4	2	1	3	83	4

Quadro 5- Análise química de micronutrientes do solo utilizado no experimento.

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
-----mg dm ⁻³ -----				
0,68	1,2	93	0,9	0,5

Quadro 6- Composição granulométrica do solo utilizado no experimento.

Areia Total	Argila	Silte
>0,05mm	< 0,002 mm	0,05 - 0,002 mm
-----g kg ⁻¹ -----		
730	160	110

O calcário dolomítico (PRNT = 91 %) foi aplicado em quantidade para elevar a saturação em bases a 70%, segundo Raij et al. (1997), sendo que a mistura solo mais calcário foi mantida incubada a uma umidade próxima a 80%, durante 25 dias. Após esse período foram retiradas amostras de solo para verificar-se a saturação por bases havia chegado aos valores previamente estabelecidos (Quadro 7), bem como teores dos nutrientes no solo (Quadro 7 e 8), também seguida a metodologia de Raij et al. (1997).

Quadro 7- Características químicas do solo utilizado após calagem.

pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	-----mmol _c .dm ⁻³ -----						(%)
5,9	24	4	25	0,5	46	10	57	82	69

Quadro 8- Análise química de micronutrientes do solo utilizado após calagem.

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
-----mg dm ⁻³ -----				
0,10	0,6	41	0,6	0,4

Posteriormente à incubação, foram adicionados ao volume de terra de cada vaso cerca de 312 mg de N kg⁻¹ de terra, tendo como fonte a uréia (45 % N) e 280 mg de K kg⁻¹ de terra, usando cloreto de potássio (60 % K₂O). Tanto a adubação nitrogenada como a potássica foram repetidas no segundo cultivo do milho.

5.3.2 Tratamentos

Os tratamentos empregados compreenderam as diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, sendo que para todos os tratamentos, exceto a testemunha, foram utilizadas a mesma dose de fósforo.

A adubação fosfatada somente foi realizada no primeiro cultivo, sendo que o segundo cultivo foi realizado para avaliar o efeito residual do fósforo fornecido nas diferentes fontes utilizadas.

Os tratamentos utilizados foram constituídos por:

- T1- (C) Controle (sem adição de P);
- T2- (ST) Superfosfato Triplo;
- T3- (A) Concentrado Apatítico;
- T4- (R 3) Biofertilizante;
- T5- (R 1) (Esterco de suínos (ES) + Superfosfato Triplo (ST) Biodigerido);
- T6- (R 2) (Esterco de suínos (ES) + Concentrado Apatítico (A) Biodigerido);
- T7- (R 3) Biofertilizante (60%) + Superfosfato Triplo (40% de ST), mistura física;
- T8- (R 3) Biofertilizante (68%) + Concentrado Apatítico (32% de A), mistura física.

Todos os tratamentos, exceto o controle (C), receberam a mesma quantidade de P (200 mg kg⁻¹ de terra), sendo o cálculo feito a partir dos resultados das análises químicas apresentadas nos quadros 2 e 9. As fontes sólidas (superfosfato triplo

(ST) e concentrado apatítico (A)) foram misturados homogeneamente ao solo e posteriormente os vasos foram preenchidos com as misturas. No caso dos tratamentos líquidos onde foi aplicado o biofertilizante (tratamentos 4 a 8) primeiro os vasos foram preenchidos com o solo que já havia recebido calcário e adubação com N e K, e na sequência foi aplicado sobre a superfície do solo a suspensão obtida nos biodigestores, sendo posteriormente feita uma incorporação superficial em torno de 10 centímetros de profundidade.

Para os tratamentos T5 e T6 foi aplicado apenas o material contido nos reatores R1 e R2 , porém nos tratamentos T7 e T8, o biofertilizante gerado no reator 3 (R3) foi misturado com a fonte superfosfato triplo e concentrado apatítico, três dias antes do material ser aplicado ao solo.

5.3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi um fatorial 8 x 2 (7 fontes diferentes de P mais o controle sem adubação com P e 2 cultivos), sendo que cada tratamento foi composto de 8 repetições.

Quando se considerou o Índice de Eficiência Agronômica (IEA), utilizou-se um fatorial 6 x 2, sendo excluídos dos tratamentos a fonte de superfosfato triplo e a testemunha, uma vez que ambos tratamentos são utilizados no cálculo do IEA conforme será descrito no item 5.3.7.

5.3.4 Semeadura e desbaste

Após a aplicação dos tratamentos foram semeadas, por vaso, 12 sementes do híbrido ZENECA 8484. Quando todas as sementes já haviam emergido (cinco dias após a semeadura), foi realizado o desbaste, mantendo 8 plantas por vaso.

Esses mesmos procedimentos com relação semeadura e desbaste foram feitos para o segundo cultivo.

5.3.5 Adubação de cobertura com nitrogênio

Durante o desenvolvimento das plantas, aos 21 dias após a emergência foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, onde 208 mg de N por kg⁻¹ de terra foram aplicadas na superfície do solo, para todos os tratamentos inclusive a testemunha. Também a adubação de cobertura foi repetida para o segundo cultivo na mesma época.

5.3.6 Colheita das plantas

Nos dois cultivos, a colheita do ensaio foi realizada 30 dias após a emergência das plantas e consistiu no corte da parte aérea rente ao solo.

5.3.7 Parâmetros avaliados

A avaliação dos tratamentos foi realizada através dos parâmetros: comprimento das plantas (cm), diâmetro do caule (mm), matéria seca de parte aérea, clorofila, quantidade de P na parte aérea, Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) e teor de fósforo no solo.

- **Comprimento de plantas**

Após a colheita das plantas (30 dias após a emergência) foram realizadas medidas de comprimento de plantas (cm), sendo esta determinada pelo ponto mais alto da planta (as folhas foram esticadas).

- **Diâmetro de caule, clorofila e matéria seca**

Aos trinta dias após a emergência, as plantas de milho foram cortadas rente ao solo. O material foi encaminhado ao Laboratório onde foi realizada a medida do diâmetro de caule (mm) e determinada a medida indireta de clorofila, através de leituras do clorofilômetro (Minolta SPAD-502). Posteriormente o material foi lavado e colocado a secar em estufa de circulação de ar forçado com temperatura de 65°C por 72 horas, quando não mais havia variação de sua massa, determinou-se a massa de material seco.

- **Análise química das plantas**

O material foi encaminhado ao Laboratório de Análise Química de Planta do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, onde foi seco, moído e posteriormente analisado o teor de fósforo segundo metodologia citada por Malavolta et al. (1997).

- **Análise química do solo**

Ao final dos cultivos o solo foi analisado, sendo retirada uma amostra por vaso, a qual foi seca em estufa e analisada conforme metodologia preconizada por Raij & Quaggio 1983.

- **Índice de Eficiência Agronômica**

O cálculo do IEA seguiu metodologia citada por Bull et al. (1997), onde a testemunha serviu para estimar o fósforo nativo do solo e a comparação entre as fontes foi realizada em relação ao superfosfato triplo (usado como referência). Esse cálculo foi feito tanto para a produção de matéria seca como para a quantidade de P acumulada pela planta, sendo utilizada seguinte equação para sua determinação:

$$\text{IEA} = \frac{\text{PFT} - \text{Testemunha}}{\text{PST} - \text{Testemunha}} \times 100, \text{ onde:}$$

PFT = massa seca ou quantidade de P acumulada nas plantas para os diferentes tratamentos com P (exceto o superfosfato triplo).

PST = massa seca ou quantidade de P acumulada nas plantas cuja fonte de P foi o Superfosfato triplo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização de fósforo

Com relação a biodigestão anaeróbia sobre a solubilização das diferentes fontes de fósforo, não foi possível a avaliação do seu efeito diretamente na solução, em virtude da quantificação do P solúvel, onde verificou que os extratos gerados a partir dos extratores água, ácido cítrico 2% e citrato neutro de amônio apresentaram coloração amarela, não diferindo da solução indicadora (vanado molibdico), o qual possui cor amarela. Sendo assim, o método colorimétrico utilizado mostrou-se ineficiente para esse tipo de amostra e também, devido a presença de sólidos solúveis em suspensão.

Outra dificuldade observada foi a coleta de amostra homogênea dentro dos reatores, uma vez que o mesmo não dispunha de agitadores e em função do peso e modelo dos biodigestores, a agitação dos mesmos não produziram boa homogeneidade. A presença de materiais orgânicos em suspensão devido à precária agitação, pode ter interferido no tipo de mistura formada entre o esterco de suíno e a água.

Apesar da mistura realizada (água e esterco de suíno) não ser homogênea, a proporção utilizada foi indicada por Benincasa et al. (1991) (8% de sólidos totais e 92 % de água), como sendo eficiente para o funcionamento do processo de biodigestão anaeróbia, quando submetidas nesse modelo de reator, evitando assim a formação de crosta e entupimento da tubulação.

Após o processo de fermentação anaeróbia, muito dos compostos orgânicos passaram para a solução aquosa, formando uma solução de coloração escura, comprometendo os resultados de fósforo nos extratores água, ácido cítrico e citrato neutro de amônio, analisados pelo método colorimétrico.

Assim o método que melhor evidenciou a quantidade de P_2O_5 da mistura, foi o que determinou o teor de fósforo total (LANARV, 1998).

O extrato gerado por este método apresentou coloração clara, sendo isenta de material orgânico quando comparados aos extratos fornecidos pelos demais extratores utilizados.

No quadro 9 são apresentados os valores percentuais de P_2O_5 determinados à partir dos extratores água, ácido cítrico, citrato neutro de amônio e ácido nitro-perclórico, referentes aos pontos A e B e épocas de coletas. Os mesmos demonstram a incoerência dos valores encontrados como já discutido anteriormente.

Quadro 9 Valores percentuais de P_2O_5 obtidos pelos extratores água, ácido cítrico, citrato neutro de amônio e ácido nitro-perclórico (P_2O_5 Total).

Reatores	Ponto de coleta	1° Coleta	2° Coleta	3° Coleta	4° Coleta
P_2O_5 solúvel em água (%)					
R1	A	0,16	0,09	0,30	0,34
R1	B	0,11	0,02	0,17	0,29
R2	A	0,05	0,10	0,07	0,14
R2	B	0,03	0,08	0,10	0,13
R3	A	0,09	0,08	0,20	0,15
R3	B	0,03	0,10	0,09	0,17
P_2O_5 solúvel em ácido cítrico (1:100)					
R1	A	0,23	0,23	0,22	0,19
R1	B	0,23	0,16	0,17	0,15
R2	A	0,18	0,15	0,16	0,13
R2	B	0,36	0,09	0,10	0,09
R3	A	0,13	0,17	0,18	0,21
R3	B	0,12	0,14	0,15	0,11
P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio					
R1	A	0,13	0,18	0,17	0,16
R1	B	0,11	0,11	0,13	0,11
R2	A	0,10	0,12	0,10	0,09
R2	B	0,12	0,06	0,07	0,05
R3	A	0,11	0,09	0,08	0,10
R3	B	0,10	0,12	0,02	0,08
P_2O_5 Total					
R1	A	0,22	0,30	0,18	0,19
R1	B	0,20	0,20	0,14	0,10
R2	A	0,16	0,20	0,15	0,13
R2	B	0,15	0,10	0,06	0,08
R3	A	0,16	0,16	0,05	0,12
R3	B	0,13	0,13	0,30	0,11

Com o intuito de reduzir os erros que poderiam interferir nos resultados da etapa seguinte, referido ao sexagésimo dia, o qual foi determinado pela aplicação do biofertilizante no solo, foram descartados os extratores água, ácido cítrico e citrato neutro de amônio empregado pela metodologia citada por LANARV (1988), devido aos extratores não digerirem totalmente a matéria orgânica presente, comprometendo a obtenção dos resultados.

Aos 60 dias após o abastecimento dos biodigestores, foi realizado o peneiramento dos biofertilizantes gerados nos diferentes reatores, para assim, obter melhor homogeneidade das amostras, não interferindo no resultado de fósforo total, valor utilizada pela etapa seguinte.

No quadro 10 são apresentados os resultados da quinta coleta de amostras, referente aos materiais peneirados, quanto aos teores de fósforo total contidos e os valores de P encontrados.

Quadro 10- Resultados das quantidades e teores de fósforo total no substrato, antes e após o processo da biodigestão anaeróbia.

PARÂMETRO	UNIDADE	REATOR 1	REATOR 2	REATOR 3
P adicionado (mineral)	Gramas/reator	100,00 (ST)	100,00 (A)	-----
P contido (esterco)	Gramas/reator	165,22	165,22	165,22
P total contido	Gramas/reator	265,22	265,22	165,22
P total encontrado	Gramas/reator	241,28	256,95	148,00
P total contido	%	0,22	0,18	0,13
P total encontrado	%	0,20	0,17	0,12

ST= Super fosfato triplo.

A= Concentrado apatítico.

Considerando-se os valores das quantidades totais de fósforo encontradas, em relação às quantidades de P esperada, ou seja, quantidade de P total contida inicialmente no substrato, antes do processo de biodigestão anaeróbia (fase ácida), verificou-se todos os valores de fósforo totais determinados não atingiram os valores de P esperado nos substratos. Este fato provavelmente esteja relacionado à amostragem do material, sendo que para reator 1 (R1) foi encontrado 90% do fósforo total contido no substrato, 96% para reator 2 (R2) e 89% para o reator 3 (R3).

Os resultados encontrados foram semelhantes aos descritos por Gould & Genetelli (1975), onde os mesmos conseguiram quantificar apenas 90% do fósforo contido na mistura orgânica.

6.2 pH da mistura

No quadro 11 são apresentados os resultados de pH referentes aos pontos de amostragem e às respectivas coletas.

Quadro 11- Valores de pH da mistura contida nos reatores, determinados para os respectivos ponto e época de coleta.

Coletas	Ponto de Coleta	Reator 1	Reator 2	Reator 3
Coleta 1	A	4,9	4,9	4,9
Coleta 1	B	4,8	5,1	5,1
Coleta 2	A	5,1	5,2	5,2
Coleta 2	B	5,2	5,1	5,2
Coleta 3	A	5,1	5,2	5,3
Coleta 3	B	5,1	5,2	5,2
Coleta 4	A	5,1	5,2	5,2
Coleta 4	B	5,1	5,3	5,0
Média		5,1	5,2	5,1

De acordo com os valores de pH apresentados pelo quadro 11, observa-se que este variou de 4,8 a 5,3, comprovando a ocorrência da fase ácida da biodigestão anaeróbia, como citado por Toledo (1996); Cereda (1994). Segundo Andrews & Pearson (1965) e Banerjee et al. (1998) são os ácidos orgânicos produzidos nesta fase os responsáveis pelo decréscimo do pH.

Mesmo observada a ocorrência da diminuição do pH e produção de ácidos orgânicos, não foi possível avaliação do efeito da biodigestão anaeróbia (fase ácida) sobre a solubilização das diferentes fontes de fósforo no presente estudo, devido a fatores já mencionados.

O efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização de diferentes fontes de fósforo e a eficiência agrônômica do biofertilizante gerado, após o processo de biodigestão anaeróbia, foram melhores detectados quando avaliados em casa de vegetação, utilizando plantas de milho como indicadora.

6.3 Efeito da temperatura sobre o desenvolvimento das plantas de milho

Previamente à discussão dos parâmetros avaliados para cada cultivo, torna-se importante ressaltar a influência da temperatura sobre o desenvolvimento das plantas de milho.

A Figura 3 apresenta os valores de temperatura média encontrados para os dois cultivos realizados.

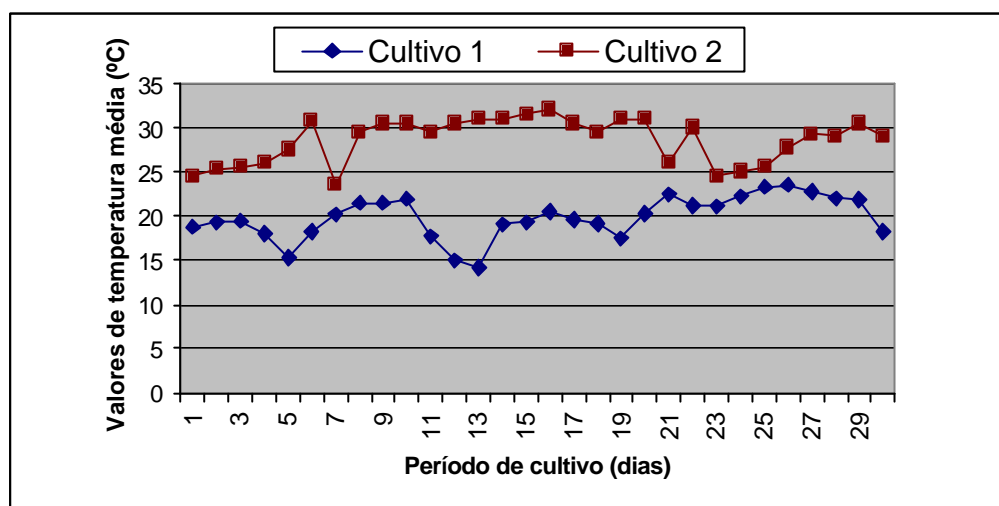


Figura 3- Valores de temperatura média encontrada para cada cultivo.

Os resultados de temperatura apresentados pela figura 3 demonstram que no primeiro cultivo os valores de temperatura média foram inferiores ao segundo, determinando o fator limitante ao desenvolvimento das plantas de milho no primeiro, o que conseqüentemente acarretou na menor produção de matéria seca, menor absorção de P e menor comprimento das plantas quando comparado com o segundo cultivo.

Segundo Saw (1988), para o desenvolvimento normal das plantas de milho, as mesmas necessitam de valores médios de temperatura entre 21 a 27°C, onde temperaturas inferiores a 19°C e superiores a 13°C influenciam negativamente sobre o

desenvolvimento das plantas. Este efeito da temperatura sobre o desenvolvimento das plantas de milho é também relatado por Gardioli et al. (2000); Stone et al. (1999); Hayhoe et al. (1996) e Costa (1994).

Sendo assim, no primeiro cultivo observou-se que os valores de temperatura média inferiores à considerada ideal ao desenvolvimento das plantas, enquanto no segundo os valores registrados, demonstram faixas de temperatura propícias (Saw, 1988) ao crescimento das mesmas.

6.4 Resultados quanto ao comprimento das plantas, diâmetro dos caules e teores de clorofila, em função das fontes de P aplicadas ao solo

No quadro 12 são descritos os resultados quanto ao comprimento das plantas, diâmetro dos caules e teores de clorofila obtidos nos dois cultivos, em função da aplicação de diferentes fontes de P ao solo.

Quadro12- Resultados morfológicos obtidos nos respectivos cultivos em função das fontes de P aplicadas ao solo.

Fonte de P	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 1	Cultivo 2
	Comprimento de plantas (cm)		Diâmetro do caule (mm)		Unidade SPAD - Clorofila¹	
Controle	45,2 C b	51,5 B a	2,88 B a	2,78 D a	22,6 B b	17,9 B a
S T	71,9 B b	98,8 A a	6,17 A b	9,27 A B a	34,3 A a	35,7 A a
Apatita	48,2 C b	55,2 B a	3,31 B b	2,68 D a	20,8 B a	20,0 B a
R3	74,4 B b	96,9 A a	6,70 A b	9,73 A a	33,9 A a	32,4 A a
R1	81,8 A b	98,1 A a	7,52 A b	9,21 A B a	36,9 A a	33,9 A a
R2	73,5 B b	100,0 A a	6,69 A b	8,16 C a	34,0 A a	34,4 A a
R3 + S T	78,4 A B b	98,2 A a	6,81 A b	8,78 B C a	34,2 A a	34,5 A a
R3 + Apatita	78,1 A B b	99,7 A a	7,05 A b	8,28 C a	33,7 A a	33,7 A a
CV %	6,34		10,59		9,16	

Comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos de cada cultivo. Letras minúsculas comparam médias de tratamentos entre os cultivos.

¹ Unidade dada pelo clorofilômetro Minolta, modelo SPAD 502.

Com relação ao comprimento das plantas no primeiro cultivo notou-se que, de modo geral, houve um incremento no comprimento, quando a mesma quantidade de P foi aplicada misturando biofertilizante ao super fosfato triplo, independentemente do momento da mistura (antes ou depois do biofertilizante). Resultados semelhantes foram encontrados para a mistura biofertilizante (R3) + Apatita (A).

Os efeitos favoráveis do comprimento da planta de milho obtidos nestes tratamentos podem ser atribuídos à menor retenção de P no solo, em função da matéria orgânica adicionada, bloqueando as hidroxilas expostas na superfície de óxidos de ferro e alumínio conforme citado por Leal & Veloso (1973).

A mistura entre concentrado apatítico + biofertilizante (R2) apresentou resultado não significativamente diferente do tratamento R3 + concentrado apatítico, o que permite supor que o concentrado apatítico quando aplicado ao reator, influenciou negativamente na disponibilidade de P. Este feito depressivo pode estar ligado ao fato da pequena quantidade de cálcio solubilizada do concentrado apatítico ter insolubilizado (ou precipitado) o fósforo da solução. Este fato foi descrito por Morse et al. (1998), onde o mesmo relata que a utilização de cálcio em reatores anaeróbios, precipita o P solúvel da mistura.

Apesar do teor de P no solo ser baixo (4 g dm^{-3}) não se obteve resposta do concentrado apatítico quando aplicado ao mesmo, uma vez que este tratamento não diferiu da testemunha.

No segundo cultivo os menores comprimentos das plantas de milho ocorreram para o controle e o tratamento onde a fonte de P foi concentrado apatítico. Estes tratamentos diferiram estatisticamente em relação aos demais avaliados.

Conforme já descrito, a temperatura para o segundo cultivo foi superior ao primeiro, o que pode ter influenciado em dois aspectos em termos de absorção

de P pelas plantas: aumento da taxa de mineralização e o aumento do comprimento das plantas de milho.

Com relação à taxa de mineralização Greenland et al. (1992), considera que a temperatura é o fator essencial nesse processo. Zech et al., (1997) observaram que a velocidade de mineralização e a quantidade de nutriente liberado diferem grandemente entre o tipo de material e a fração orgânica do resíduo. Outro fato confirmado é que a mineralização do P orgânico deve contribuir muito mais para a nutrição de plantas em solos tropicais do que em solos de clima temperado (Willians, 1967).

Scivittaro (1993), obteve menor quantidade de raiz de planta de milho em função da temperatura, o que influenciou na absorção de P pela cultura.

6.5 Diâmetro das plantas de milho

Quanto ao diâmetro das plantas de milho notou-se que, de modo geral, os tratamentos que receberam somente biofertilizante (R3) ou a mistura com concentrado apatítico ou super fosfato triplo, seja biodigerida ou isenta do tratamento anaeróbio, não diferiram estatisticamente entre si, nem mesmo em relação ao super fosfato triplo.

Diferentemente do observado para o comprimento, o diâmetro das plantas de milho, no primeiro cultivo, não permitiram a discriminação entre os tratamentos, exceto para o concentrado apatítico e o controle. Para o segundo cultivo, apesar de estatisticamente haver diferenças entre os tratamentos R2, R3+ST, R3+A, em relação à R1, estes são tão sutis que dificultam uma discussão.

As diferenças observadas para o segundo cultivo podem ser justificadas pela dificuldade de se manter um padrão de leitura do diâmetro, que pode ser

variável com a pressão fornecida ao paquímetro e a irregularidade da superfície do caule do milho no local da determinação, mesmo diante do fato de que essa medida tenha sido feita para oito plantas por vasos em oito repetições, onde possivelmente, esses fatores tenham influenciado e gerado as mínimas diferenças entre os tratamentos. Tratando-se do controle e o concentrado apatítico, a diferença de diâmetro era visível, conforme descrito pelo quadro 12, para ambos os cultivos.

6.6 Medida indireta de clorofila (MIC)

Nos tratamentos controle e onde foi aplicado o concentrado apatítico constatou-se arroxamento nas folhas mais velhas. Aos 30 dias após a emergência das plantas, todas as folhas apresentaram esse sintoma que é característico da deficiência de P como descrito por Bartoloni (1990). De acordo com Magalhães (1985), o arroxamento nas folhas de milho se deve a produção de antocianinas, substância que interfere na MIC.

Sabe-se que o nitrogênio não foi objeto de estudo deste trabalho, mas pelos resultados de MIC encontrados, pode-se inferir que o biofertilizante não promoveu incremento no teor de clorofila, ou ainda que a dose de nitrogênio aplicada ao solo não foi restritiva para nenhum dos tratamentos.

6.7 Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho, em função das fontes de P aplicadas ao solo

Os efeitos das fontes de fósforo sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho são apresentados no quadro 13.

Quadro 13- Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos consecutivos.

Fonte de P	Cultivo 1	Cultivo 2	à dos cultivos
Matéria Seca			
----- (gramas) -----			
Controle	2,68 B a	4,52 C a	7,19 C
S T	11,70 A b	34,85 A a	46,56 A B
Apatita	3,00 B a	4,12 C a	7,12 C
R3	13,40 A b	35,77 A a	49,18 A B
R1	15,88 A b	35,77 A a	51,64 A
R2	13,14 A b	29,35 B a	42,48 B
R3 + S T	14,72 A b	35,66 A a	50,37 A
R3 + Apatita	14,22 A b	32,05 A B a	46,27 A B
CV %	20,25		1,42

Comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos de cada cultivo. Letras minúsculas comparam médias de tratamento entre os cultivos.

A matéria seca da parte aérea das plantas de milho, obtida aos 30 dias após a emergência das mesmas variou significativamente, entre o primeiro e segundo cultivos, sendo que no segundo cultivo praticamente a massa seca dobrou. Como já discutido, o efeito da temperatura teve importante influência neste aspecto.

O fato da temperatura variar entre os cultivos, impediu a discussão do efeito residual das fontes aplicadas sobre o desenvolvimento da planta, como já notado em trabalhos envolvendo fontes de P, tais como os descritos por Sanzonowicz et al. (1987); Fageria et al. (1991); Rossi et al. (1999).

No primeiro cultivo, os valores de matéria seca estão abaixo do apresentado por Bull et al. (1999) para as plantas de milho com 30 dias após a emergência. Os autores utilizaram vasos plásticos preenchidos com 16 litros de solo com 8 plantas/vaso, onde o valor médio da produção de matéria seca total para a fonte ST no primeiro cultivo foi de 37,5 g, para a fonte A (concentrado apatítico) 7,2 gramas e para o controle 1,6 g. Comparando-se tais dados ao presente estudo, observou-se que a produção do controle descrito pelos autores foi inferior ao apresentado no quadro 13.

Os resultados da produção de matéria seca total da parte aérea das plantas de milho, encontrados para as fontes ST, R1, R3, R3+ST e R3+A, foram superiores aos valores obtidos por Scivittaro (1993) quando os mesmos avaliaram 8 plantas de milho, 30 dias após a emergência e submetida a fonte solúvel.

Os autores obtiveram, para a fonte ST (Superfosfato Triplo), quando aplicada em Latossolo vermelho amarelo (Unidade Itororó), a produção de 4,21 g de matéria seca no primeiro cultivo, e 4,44 g no segundo cultivo.

Os resultados apresentados por Scivittaro (1993) são diferentes dos valores apresentados pelo quadro 13 também dos citados por Bull et al., (1999) podendo este fato ser atribuído ao volume de solo utilizado, pois no presente estudo foram utilizados 16 quilos de solo por vaso, enquanto no trabalho de Scivittaro (1993), utilizou-se somente um quilo de solo, dificultando assim o desenvolvimento do sistema radicular, conseqüentemente havendo a menor absorção de P e produção de matéria seca.

A massa de matéria seca total produzida pela parte aérea das plantas de milho, apresentaram um comportamento semelhante ao discutido para o comprimento das plantas, ou seja, as diferenças foram observadas somente para o controle e o concentrado em relação as demais fontes aplicadas ao solo.

No segundo cultivo, o tratamento R3 (biofertilizante) apresentou resultado superior em relação ao controle e não significativo ao concentrado apatítico digerido juntamente ao dejetos de suíno (R2). Esse efeito, possivelmente seja devido à baixa solubilidade do P no concentrado apatítico.

Os resultados demonstram que apesar da solução contendo esterco de suíno e o concentrado apatítico ter sofrido ação de microrganismos anaeróbios, foi observado que os mesmos não foram efetivos na solubilização do P contido no material.

Possivelmente esse efeito poderia ser diferente se a fonte de P utilizada apresentasse outra origem e não a de origem ígnea, como é caso do concentrado apatítico utilizado.

De acordo com Rajan et al. (1996), as fontes de fósforo de origem ígnea, apresentam estrutura cristalina compacta, sem superfície adicional interna, provavelmente havendo a menor presença de minerais acessórios, apresentando assim baixa reatividade. A opção para isso, poderia ser a utilização de fontes de P de origem sedimentar, que segundo Hammond et al. (1986) apresenta estrutura microcristalina pobremente consolidada, com grande superfície específica.

No segundo cultivo, os tratamentos apresentaram comportamento semelhante ao primeiro, onde as fontes ST, R1, R2, R3, R3 + ST e R3 + A não apresentaram diferenças significativas entre si, diferindo-se apenas do controle (sem aplicação de P) e fonte A (concentrado apatítico). Portanto, quando comparados os dois cultivos, verificou-se diferenças significativas entre eles, excluindo-se o controle e a fonte A do cultivo 1, se comparadas as mesmas no cultivo 2.

6.8 Quantidade de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de milho, em função das fontes de fósforo aplicadas ao solo

No quadro 14 são descritas as quantidades de fósforo extraídas pela parte aérea das plantas de milho, nos dois cultivos e a soma dos mesmos, em função das fontes de fósforo aplicadas ao solo.

Quadro 14- Quantidade de fósforo obtido na parte aérea das plantas de milho submetidas às diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos consecutivos.

Fonte de P	Cultivo 1	Cultivo 2	à do cultivos
Controle	2,93 C a	4,14 D a	7,07 D
S T	35,70 A b	62,41 A a	98,11 A
Apatita	3,66 C a	3,73 D a	7,39 D
R3	26,71 B b	51,49 B a	78,20 B
R1	38,08 A b	54,20 B a	92,28 A
R2	24,60 B b	38,36 C a	62,98 C
R3 + S T	31,06 A B b	56,20 A B a	87,76 A
R3 + Apatita	30,83 A B b	42,05 C a	72,89 B
CV%	21,38		1,62

Comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos de cada cultivo. Letras minúsculas comparam médias de tratamento entre os cultivos.

Com relação à quantidade de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de milho no primeiro cultivo, observou-se que os mesmos fatores que influenciaram os outros parâmetros abordados e discutidos anteriormente, apresentaram também efeito sobre a absorção do fósforo pelas plantas.

Diante dos dados apresentados pelo quadro 14, observou-se no primeiro cultivo, um efeito positivo do processo de biodigestão anaeróbia, onde foi a fonte de P analisada era R1, proveniente da mistura de esterco de suínos mais super fosfato triplo, antes do processo de biodigestão anaeróbia.

Verificou-se neste cultivo que o efeito positivo da biodigestão anaeróbia, embora não significativo a 5% de probabilidade, foi refletido no incremento de fósforo extraído e obtida na parte aérea das plantas de milho submetidas à fonte R1.

Este fato como já descrito por Leal & Velloso (1973), pode ser atribuído à presença de radicais livres contidos na matéria orgânica, onde os mesmos bloqueiam as hidroxilas expostas na superfície de óxidos de ferro e alumínio, reduzindo a capacidade de retenção de fósforo do solo.

No mesmo cultivo pôde ser observado que a absorção de fósforo pela parte aérea das plantas de milho, foi diretamente influenciada pela solubilidade da fonte aplicada ao solo e pelos teores de matéria orgânica do solo ou contidos nas fontes, como descritos por Kiehl (1993) com relação ao uso de fertilizantes organominerais.

El Baruni & Olsen (1979), ao realizar a mistura física de esterco de bovino com superfosfato simples, notaram o aumento da disponibilidade de P para o vegetal, se comparado aos fertilizantes orgânicos e minerais quando utilizados isoladamente.

Guzmán et al. (1980), avaliando gramíneas, especificamente o capim italiano (*Lolium multiflorum*, variedade Westerwolls tetraplóide) e realizando cortes regulares à cada 35 dias, verificaram que quando submetidas à mistura de dejetos de bovino com rochas fosfóricas naturais (México), antes do processo de fermentação biológica, seja esta realizada por microrganismo aeróbio ou anaeróbio, obteve-se altas quantidades de P extraído pela parte aérea da cultura.

Os mesmos relataram que os melhores resultados foram obtidos para a fonte gerada à partir da fermentação aeróbia, onde plantas submetidas à mesma acumulou 41,98 mg de P em sua parte aérea, enquanto 26,68 mg de P foi determinado na parte aérea de plantas sujeitas à fontes provenientes de processo de fermentação anaeróbia.

Com relação à fonte R2, no primeiro cultivo, nota-se novamente o efeito negativo do processo de fermentação anaeróbia sobre a fonte A (concentrado apatítico). Este efeito depressivo não proporcionou as diferenças estatisticamente calculadas entre as fontes R3, R3+ST e R3+A, diferindo das fontes ST, controle e fonte A.

Através do quadro 14 observou-se que no segundo cultivo a fonte ST proporcionou a maior quantidade de P absorvido pela parte aérea das plantas de milho quando comparada com as demais, exceto para R3+ST. Isto justifica, devido às demais

fontes de P aplicadas ao solo não suprirem a necessidade de P das plantas, ao longo do cultivo. Mesmo diante da constatação que no segundo cultivo houve aumento do desenvolvimento das plantas em virtude da temperatura, não foi possível verificar o efeito da mesma sobre a mineralização de P orgânico.

Notou-se ainda que no segundo cultivo a quantidade absorvida pela planta está relacionada à presença da fonte solúvel, fortalecendo a alternativa da mistura de fontes solúveis ao esterco anteriormente ao processo de fermentação biológica, provavelmente devido o aumento da disponibilidade de P, como relatados por El Baruni & Olsen (1979); Kiehl (1993), além do aumento da eficiência agrônômica.

Quando comparados os dois cultivos, observou-se que houve diferenças significativas para todas as fontes, exceto para o controle e a fonte A (concentrado apatítico).

No que se refere a soma dos cultivos, como demonstrado no quadro 14, verificou-se que a quantidade de fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de milho foi em função da solubilidade da fonte aplicada ao solo. Observou-se ainda, que a fonte de fósforo que apresentaram em sua composição a fonte ST seja ela proveniente da mistura física ou biológica, não diferiram estatisticamente da mesma quando aplicada sozinha, mas diferiram das demais fontes utilizadas.

Detectou-se novamente o efeito negativo da biodigestão anaeróbia sobre a fonte R2 como já abordado anteriormente.

6.9 Avaliação do Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) das fontes de fósforo, relativos aos dados de produção de matéria seca total de parte aérea das plantas de milho

Os Índices de Eficiência Agronômica (IEA) relativos aos dados de produção de matéria seca total da parte aérea das plantas de milho, ao longo dos cultivos são apresentados pelo quadro 15.

Quadro 15- Resultado percentual do Índice de Eficiência Agronômica, calculado com base na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos e pela soma dos mesmos.

Fonte de P	Cultivo 1	Cultivo 2	à dos cultivos
IEA Matéria Seca			
------(%)-----			
Apatita	3,84 B a	3,34 B a	2,70 C
R3	118,78 A a	103,00 A a	106,64 A
R1	146,13 A a	103,00 A a	112,90 A
R2	115,78 A a	81,94 A b	89,63 B
R3 + S T	133,28 A a	102,64 A a	109,68 A
R3 + Apatita	127,76 A a	90,82 A a	78,13 B
CV %	24,06		1,36

Comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos de cada cultivo. Letras minúsculas comparam médias de tratamento entre os cultivos.

Os dados apresentados pelo quadro 15 demonstram que para o cultivo 1, as fontes R1 e R3+ST, apresentam os maiores resultados no que se refere ao IEA. Tal resultado era previsível, haja vista que as fontes utilizadas apresentaram o superfosfato triplo em sua composição. Conforme citado por Goedert & Souza (1986) e Chien et al. (1990), o superfosfato triplo apresenta elevada solubilidade em água, o que determina em grande parte à eficiência agronômica dos fosfatos.

Notou-se que no cultivo 1 somente a aplicação do biofertilizante (R3) ou o emprego da mistura com concentrado apatítico, seja ela antes ou depois da biodigestão anaeróbia, proporcionaram valores de IEA superiores ao valor estabelecido para a fonte solúvel.

Apesar de não significativo, no cultivo observou-se que a fonte R2 sofreu efeito negativo com relação ao processo de fermentação anaeróbia sobre a disponibilidade do fósforo da fonte, como já relatados e discutidos anteriormente. A partir do quadro 15, também pode ser verificado o incremento nos valores percentuais de IEA para a fonte R3+A (mistura física de biofertilizante + concentrado apatítico) quando comparado ao uso de biofertilizante isoladamente, não apresentando diferença significativa entre si.

Essa vantagem também foi descrita por Kiehl (1993), onde o mesmo produziu um fertilizante organomineral, após a mistura de fertilizante orgânico com fertilizante mineral.

Relatando ainda sobre o primeiro cultivo, verificou-se que todas as fontes que possuem em sua composição material orgânico, não diferiram estatisticamente entre si, portanto as mesmas somente diferiram do controle e da fonte A.

Através do quadro 15 observou-se que no segundo cultivo a fonte R3 (biofertilizante aplicado sozinho), apresentou valor de IEA igual ao encontrado para a fonte R1, similarmente ao resultado apresentado para a fonte R3+ST. Novamente é constatada a opção de uso do biofertilizante sozinho como fertilizante, podendo o mesmo substituir as fontes de P solúvel, além da contribuição promovida pela biobigestão anaeróbia para a qualidade ambiental.

A fonte R3 (Biofertilizante) quando aplicada sozinha ao solo, apresentou valor percentual de IEA igual ao encontrado para a fonte R1 e similar ao obtido pela fonte R3+ST.

Este fato confirma a citação de Chukanov (1986), onde o mesmo descreve que a utilização de fertilizantes orgânicos semi líquidos podem ser substitutos da

adubação mineral, onde a única desvantagem é o volume de biofertilizante aplicado ao solo.

O quadro 15 demonstra ainda que a fonte R2 e R3+A no segundo cultivo, apresentaram valores percentuais de IEA menores que o determinado para a fonte de referência (ST) que segundo Morel & Fardeau (1990), é de 100%. Novamente, é observado o efeito negativo da biodigestão sobre a fonte A na disponibilidade de P as plantas, onde isto pode ser justificado, pelo fato de que a fonte A (concentrado apatítico), apresenta baixa solubilidade em água (Oliveira et al., 1982).

Nas misturas onde foi utilizado o concentrado apatítico, 32 % do fósforo foi proveniente da apatita (insolúvel em água) sendo que o restante teve como fonte o P do esterco de suíno, confirmando a citação de Scivittaro (1993) onde relata ser a solubilidade do P aplicado a característica mais importante no fornecimento de fósforo as plantas.

Os valores de IEA, quando calculados com base nos valores totais de matéria seca de parte aérea das plantas de milho produzido pelos dois cultivos, demonstram que as fontes R3, R1, R3+ST apresentaram resultados superiores ao determinado pela a fonte de referência (ST), e as mesmas diferiram das fontes A, R2 e R3+A, fontes que apresentam menor solubilidade em água devido à presença do concentrado apatítico com valores de IEA inferiores ao determinado para a fonte ST (referência).

6.10 Avaliação do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes de fósforo, relativos aos dados de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de milho

Os Índices de Eficiência Agronômica (IEA) relativo ao fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de milho ao longo dos cultivos são apresentados no quadro 16.

Quadro 16- Resultado percentual do Índice de Eficiência Agronômica, calculado com base na quantidade de fósforo extraível pela parte aérea de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.

Fonte de P	Cultivo 1	Cultivo 2	à dos cultivos
IEA Fósforo			
------(%)-----			
Apatita	2,23 C a	1,18 D a	1,41 D
R3	72,58 B a	81,16 A B a	78,13 A B
R1	107,28 A a	85,85 A B a	93,60 A
R2	66,20 B a	58,53 C a	61,41 C
R3 + S T	85,85 B a	89,29 A a	88,09 A
R3 + Apatita	85,16 B a	64,89 B C a	72,29 B
CV %	22,6		1,44

Comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos de cada cultivo. Letras minúsculas comparam médias de tratamento entre os cultivos.

O quadro 16 demonstra que o comportamento agronômico das fontes avaliadas no primeiro cultivo foi, semelhante ao verificado para os valores de IEA relativos aos dados de produção de matéria seca da parte aéreas das plantas de milho no primeiro cultivo. Os maiores resultados quanto ao IEA, foram apresentados pela a fonte R1 (fonte proveniente da biodigestão anaeróbia de esterco de suíno + superfosfato triplo), onde a mesma diferiu estatisticamente das demais fontes avaliadas. Observou-se ainda o efeito positivo da biodigestão anaeróbia sobre o incremento de P, o que foi refletido no

valor percentual de IEA, o qual neste cultivo foi superior à 100% (índice de referência determinado para a fonte Superfosfato Triplo).

No primeiro cultivo, notou-se novamente para a fonte R2, o efeito negativo da biodigestão anaeróbia sobre a disponibilidade de P do concentrado apatítico e conseqüentemente, seu fornecimento de P às plantas, podendo ser isto justificado pelas citações de Morse et al. (1998).

No mesmo cultivo observa-se que as fontes R3, R3+ST, R3+A e R2 apresentaram valores inferiores à fonte de referência (ST), lembrando que no primeiro cultivo as plantas de milho foram influenciadas pelas baixas temperaturas ocorridas, diferindo das fontes R1 e A (concentrado apatítico).

No segundo cultivo, observou-se que os valores percentuais de IEA, apresentados pelas fontes que continham o fertilizante mineral (superfosfato triplo) e matéria orgânica podendo ser proveniente da mistura física ou biológica, foram as que apresentaram os melhores valores de IEA relativos ao fósforo absorvido pelas plantas de milho, se comparadas com as demais avaliadas.

Neste cultivo, todas as fontes analisadas foram inferiores ao valor determinado para a fonte de referência (fonte ST = 100%). Isso significa que essas fontes apresentam eficiência até 60 dias após a aplicação inferiores a fonte solúvel (ST), o que para haver a substituição da fonte solúvel por essas fontes alternativas há necessidade de aumentar a dose de P aplicada.

Os valores de IEA encontrados para as fontes de fósforo R3, R3 + ST e R1 foram semelhantes aos relatados por Scivittaro (1993), quando utilizou doses de 140 mg de P_2O_5 por grama de solo, para as fontes, ácido fosfórico, MAP e a fórmula 10-30-00, quando aplicadas em um latossolo vermelho amarelo.

Verificou-se ainda no segundo cultivo, que o valor percentual de IEA para a fonte R2 apresentou resultados intermediários entre o concentrado apatítico (A) e as demais fontes, o que significa que a fonte A, quando digerida junto ao esterco de suínos, promoveu um efeito depressivo na absorção de P pelas plantas, onde isto pode ser atribuído à baixa solubilidade do P, devido ao cálcio proveniente do concentrado apatítico, como já mencionado.

Os resultados mostram que apesar da ocorrência da fase ácida do processo de biodigestão anaeróbia, a mesma não apresentou eficiência na solubilização do fósforo contido na fonte A.

Os valores percentuais de IEA apresentados pelo quadro 16, relativos ao fósforo total absorvido pelas plantas de milho nos dois cultivos, evidenciaram o efeito positivo da biodigestão anaeróbia sobre a disponibilidade do P da fonte R1, já abordada nos demais parâmetros avaliados. A mesma fonte não diferiu significativamente das fontes R3 e R3+ST, diferindo das demais.

Novamente foi registrado o efeito negativo da biodigestão anaeróbia sobre a disponibilidade de fósforo da fonte R2, a qual diferiu estatisticamente das demais fontes estudadas.

Foi verificado neste parâmetro abordado como também nos demais discutidos, que os mesmos foram diretamente influenciados pela presença da fonte solúvel (ST), gerando a ordem decrescente dos valores percentuais de IEA encontrada para os dados relativos à soma dos cultivos: $R1 > R3+ST > R3 > R3+A > R2 > A$. É importante ressaltar ao parâmetro abordado que a fonte R3 não diferiu estatisticamente das fontes R1 e R3+ST, nem mesmo quando avaliada em relação à somatória dos cultivos, sendo uma boa indicação o seu aproveitamento como fertilizante.

6.11 Teores de fósforo nos solos

Os teores de fósforo, determinados em amostras de solo Latossolo vermelho escuro, submetidas às diferentes fontes de fósforo após, o primeiro e segundo cultivos são ilustrado na figura 4.

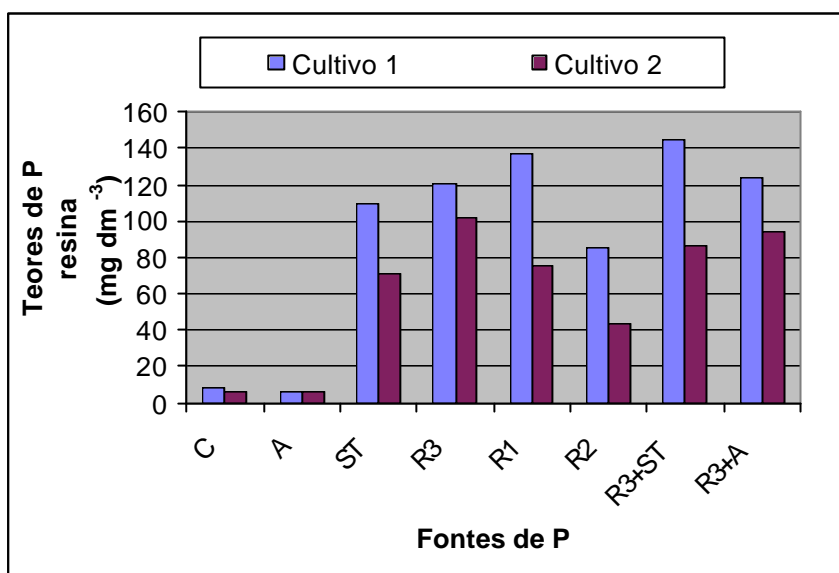


Figura 4- Resultados dos teores de fósforo resina do solo, submetido as diferentes fontes de fósforo e quantificadas após cada cultivo.

Na figura 4 é demonstrado o comportamento do fósforo extraído pelo método de resina descrito por (Raij & Quaggio, 1983). Notou-se o decréscimo nos teores de fósforo no segundo cultivo se comparados ao primeiro, sendo explicado devido ao consumo do fósforo da solução do solo pelas plantas de milho e principalmente pela fixação de P nos óxidos de ferro e alumínio. Este fato também pode ser observado em outros trabalhos, tais como o realizado por Büll et al. (1997).

De acordo com Korndörfer et al. (1999), os valores apresentados pelo método de resina, indicam claramente a quantidade de P disponível no solo para as plantas de milho. Segundo Raij et al. (1982), à utilização de outro método, empregando extratores ácidos, são capazes de superestimar a disponibilidade de P às plantas, isto é, são capazes de extrair P ainda não solubilizado à partir de fosfatos naturais.

No quadro 17, são apresentados os resultados das análises químicas das amostras de solos coletadas após o segundo cultivo.

Quadro 17- Resultados das análises químicas dos solos submetidos às diferentes fontes de fósforo após dois cultivos consecutivos.

Fontes	pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----mmol/dm ⁻³ -----						(%)
C	5,1A	24A	6C	44A	7,5A	56A	15,5A	79A	123A	64AB
A	5,1A	22A	6C	44A	6,0B	46A	12,5A	64A	109A	58B
ST	5,7A	23A	71AB	30A	3,6C	49A	12,8A	65A	95A	68AB
R3	5,2A	26A	102A	32A	5,0BC	60A	14,0A	79A	111A	71A
R1	5,1A	25A	75AB	32A	4,3BC	53A	13,0A	69A	101A	68AB
R2	5,2A	23A	44B	44A	5,0BC	50A	12,5A	67A	107A	63AB
R3+ST	5,1A	24A	87AB	30A	4,0BC	50A	13,0A	67A	97A	69AB
R3+A	5,2A	24A	94AB	34A	4,8BC	57A	13,5A	74A	108A	69AB
CV %	0,08	0,09	1,53	0,34	0,48	0,17	0,15	0,17	0,16	0,13

Comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias de tratamentos.

Os valores de fósforo extraído pelo método resina de troca aniônica após o segundo cultivo, e apresentado no quadro 17, demonstram que as fontes ST, R1, R2, R3, R3 + ST e R3 + A apresentaram valores superiores à fonte A e ao tratamento sem aplicação de P (Controle). Dentre as fontes avaliadas, a R2 promoveu efeitos inferiores, se comparada à R3. Observou-se ainda que os teores de P resina foram superiores, embora não significativos, quando na presença de material orgânico, como por exemplo, as fontes R1, R3, R3 + ST e R3 + A que exibiram valores superiores à fonte ST (fonte de fertilizante que apresenta alta solubilidade).

Todos os tratamentos receberam calcário e atingiram níveis adequados quanto ao pH e saturação de bases para a cultura, havendo tendência à redução

da primeira para segunda amostragem, o que pode ser atribuído à absorção de bases com conseqüente liberação de íons de H^+ pelas plantas.

Os teores de matéria orgânica do solo, após dois cultivos consecutivos, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, mesmo as fontes R1, R2, R3, R3 + ST e R3 + A, indicando que estes fertilizantes, não contribuíram para o aumento de compostos orgânicos, o que pode ser observado, também, confrontando-se aos valores de capacidade de troca catiônica (CTC). Resultados de matéria orgânica e CTC foram semelhantes aos obtidos e relatados por Büll et al. (1999), após estudo sobre a eficiência agrônômica de fertilizante fosfatado organo-mineral, obtido através da compostagem de lixo orgânico.

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O desenvolver do projeto de pesquisa permitiu constatar que o biofertilizante foi capaz de suprir a necessidade de fósforo exigida pela planta. Mas a importância em enriquecer o biofertilizante com fósforo é dada pela redução de custo com a aplicação e pelo aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes como já discutidas anteriormente.

Foi observado ainda, que não foi possível a avaliação do efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização das diferentes fontes de fertilizantes fosfatados estudadas, devido à metodologia e ao modelo de biodigestor empregado.

Para sanar tais problemas e dar continuidade à pesquisa será importante estabelecer:

- Um estudo de nova metodologia para quantificação do fósforo solubilizado pelo processo;
- A utilização de biodigestores anaeróbios com agitadores com o intuito de evitar a precipitação do fósforo no fundo do reator, possibilitando assim a coleta homogênea de amostras;

- A determinação da máxima concentração de fósforo que poderá avir ser adicionada ao processo de biodigestão anaeróbia.

8 CONCLUSÕES

Não se observou efeito favorável da apatita misturada aos biofertilizantes sobre os parâmetros avaliados.

A mistura das fontes de fósforo dentro do biodigestor: R1 (Esterco + Superfosfato Triplo) e R2 (Esterco + Concentrado Apatítico) não diferiram, para os diferentes parâmetros avaliados, em relação a R3 + ST e R3 + A (misturas físicas), o que sugere para a Apatita que a biodigestão anaeróbica não afetou a solubilização do fósforo.

O comprimento das plantas de milho no 1º cultivo foi maior para a mistura do Reator 1 (Esterco de Suíno (ES) + Superfosfato Triplo (ST), biodigeridos anaerobicamente) sendo superior ao ST. No 2º cultivo o uso do biofertilizantes sozinho (Reator 3) ou em mistura com fertilizantes fosfatados (Concentrado Apatítico (A) ou ST) apresentaram resultados semelhantes ao ST.

Para os dois cultivos, as plantas de milho apresentaram um diâmetro de caule nos tratamentos biofertilizante (R3) e R1 (ES + ST, biodigeridos) semelhante à aplicação do ST.

A utilização do biofertilizante sozinho ou em mistura com ST proporcionaram valores semelhantes de massa seca da parte aérea das plantas de milho quando comparados com o ST.

Houve variação na quantidade de P na parte aérea das plantas de milho entre os cultivos (exceto para o controle e concentrado apatítico) sendo que na somatória dos cultivos os resultados foram semelhantes para o ST, R1 (ES + ST) e R3 + ST (mistura física entre o biofertilizante (R3) e superfosfato triplo (ST)).

O IEA para a somatória dos cultivos, calculados com base na matéria seca apresentou valores de 6,6; 12,9 e 9,7% superiores a ST, respectivamente para os tratamentos R3, R1 e R3 + ST.

O IEA calculado a partir da quantidade de P no solo foi inferior para todos os tratamentos e em relação ao ST (padrão), sendo que os tratamentos que mais se aproximaram foram o R1 (ST + biofertilizante) e R3 + ST.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, F., TAN, K.H. Effect of lime and organic matter on soybean seedlings grown in aluminum-toxic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.50, p.656-661, 1986.
- ANDREWS, J.F., PEARSON, E.A. Kinetics and characteristics of volatile acid production in anaerobic fermentation process. *Intern. J. Air Wat. Poll*, v.9, p.439-469, 1965.
- BANERJEE, A., ELEFSINIOTIS, P., TUHTAR, D. Effect of HRT and temperature on the acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. *Wat. Sci. Technol*, v.38, n. 8-9, p.417-23, 1998.
- BARTOLONI, R. *El Maiz*. Madri. Edicion Mundi-Prensa, 1990. 276p.
- BERLATO, M.A., MATZENAUER, R., SUTILI, V.R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). *Agro. Sulriograndense*, v.20, p.111-32, 1984.
- BESHO, T., BELL, L.C. Soil solid and solution phase changes and mung bean response during amelioration of aluminum toxicity with organic matter. *Plant Soil*, v.140 p.183-196, 1992.

- BLOOM, P.R., McBRIDE, M.B., WEAVER, R.M. Aluminium organic matter in acid soils, buffering and solution aluminum activity. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, n.43, p.488-93, 1979.
- BOLAN, N.S., NAIDU, R., MAHIMAIRAJA, S., BASKARAN, S. Influence of low-weight organics acids on the solubilization of phosphates. *Biol Fertil Soils*, v.18, p.311-19, 1994.
- BOLETIM TÉCNICO DO INSTITUTO AGRONÔMICO. Campinas: Instituto Agrônomo, n.100, 1997. 285p.
- BRAGA, J.M. *Avaliação da fertilidade do solo: análises químicas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 87p.
- BRUNINI, O., ALFONSI, R.P. PAES DE CAMARGO, M.B. Efeito dos elementos climáticos no desenvolvimento da cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DO MILHO, 1, 1983, Londrina\ *Anais...* Londrina: IAPAR, EMBRAPA, CNPMS, 1983. p.21-40.
- BULL, L.T., CORREA, J.C., TECCHIO, M.A., VILLAS BÔAS, R.L., GUERRINI, I.A. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados organo-mineral obtido através de compostagem de lixo urbano. *Cult. Agron.*, v.8, n1, p.1-22, 1999.
- BULL, L.T., LACERDA, S., NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho escuro e eficiência agrônômica. *Bragantia*, v.56, n.1, p.169-79, 1997.
- CABALA, R.P., FASSENDER, H.W. Efecto del encalado en las formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la región cacaotera, Bahia, Brasil. v.21, n.1, p.38-46, 1970.
- CAMARGO, O.A., MONIZ, A.C., JORGE, J.M.A.S. Métodos de análises químicas, mineralógicas e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. *Bol. Tec. Inst. Agron.*, n.106, p.1-94, 1986.

- CARLIELL, C.M., WHEATLEY, A.D. Metal and phosphate speciation during anaerobic digestion of phosphorus rich sludge. *Wat. Sci. Technol*, v.36, n.6/7, p.191-200, 1997.
- CARVALHO, W.A., ESPÍNDOLA, C.R., PACCOLA, A.A. *Levantamento de solos da Fazenda Experimental "Presidente Medici"*. Bol. Cient., Fac. de Ciênc. Agron. UNESP (Botucatu), n.1, p. 1-95, 1983.
- CATCHCART, J.B. World phosphate reserves and resources. In: SIMPOSIUM ON THE ROLE OF PHOSPHORUS IN AGRICULTURE, 1976 Proceeding Madison, USA, 1980. p.1-18.
- CATTELAN, A., VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função das variações ambientais. *Rev. Brás. Ciênc. Solo*, v.14, p.125-32, 1990.
- CEREDA, M.P. *Resíduos da industrialização de mandioca no Brasil*. São Paulo: Paulicéia, 1994. 74p.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Belo Horizonte: v.5, 1997. 246p.
- CHIEN, S.H., SALE, P.W.G., FRIESEN, D.K. A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in solubility. *Ferti. Res.*, v.24, n.3, p.149-57, 1990.
- CHUKANOV, V.I. Utilization of semi-liquid slurry of large horned cattle. *Sibirskii Vestnik Sel Shohezyaisstvennoi Nauki*, v.2, p.5-10, 1986.
- COLEN, F. *Caracterização de reatores de chicanas com utilização de substrato sintético*. Botucatu, 1999. 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

- COSTA, A.F.S. *Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (Zea mays L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio*. Viçosa, 1994. 109p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Viçosa.
- CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., SCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Koppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. *Anais 1...* Botucatu: UNESP-FCA, 1999. p.487-491.
- DE ANDRADE, S.J. *Irrigação por sulco e aplicação de biofertilizante em feijoeiro*. Jaboticabal, 1996. 86p. Dissertação (Mestrado)FCAVJ - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- DEFILIPPE, G. Panorama da rocha fosfática e ácido fosfórico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5. 1990, São Paulo. *Anais...* São Paulo: IBRAFOS, 1990. p.5-9.
- DURAND, M., DUMAY, C., BEAUMATIN, P., MOREL, M.T. Use of the rumen simulation technique (RUSITEC) to compare microbial digestion of various by-products. *Anim. Feed Sc. and Technol.* v.21, n.3/4, p.197-204, 1988.
- EL BARUNI, B., OLSEN, S.R. Effect of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils. *Soil Sc.*, v.128, n.4, p.219-25, 1979.
- FAGERIA, N.K., BALIGAR, V.C., WRIGHT,R.J. Influence of phosphathe rocks sources and rates on rice and common bean production in an Oxisol. *Plant Soil*, v.134, n.1, p.137-44, 1991.
- FASSBENDER, H.W. *Fósforo*. In: QUÍMICAS DE SUELOS: CON ENFASÍS EN SUELOS DE AMÉRICA LATINA. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas/OEA, 1978. p.262-307.

- FISCHER, J.R., MEADOR, N.F., FULHAGE, C.D., HARRIS, F.D. Energy self-sufficient swine production system-A Model. *Trans. ASAE. (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.24, p.1264-72, 1981.
- GALBIATTI, J.A. *Efeito contínuo de efluente de biodigestor sobre algumas características físicas do solo e o comportamento de milho (Zea mays L.)*. Jaboticabal, 1992. 208p. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.
- GARCIA, B.I. L. *Determinação de temperatura base e influência de variáveis climáticas na duração do ciclo e na produção do milho (Zea mays l.)*. Piracicaba, 1993. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- GARDIOLI, J.L., DOURADO NETO, D., GARCIA, A.G., BASANTA, M.V. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. *Sc. Agric. (Piracicaba)*, v.57, p.377-83, 2000.
- GOEDERT, W.J., LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.18, p.119-24, 1984.
- GOEDERT, W.J., PATELLA, J.P., MORAES, J.F.V. Formas de fósforo num Planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura de arroz irrigado. *Pesq. Agropec. Bras. Ser. Agron.*, v.6, p.39-43, 1971.
- GOEDERT, W.J., SOUSA, D.M.G. Avaliação preliminar de fosfatos com acidulação parcial. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.10, p.75-80, 1986.
- GONÇALVES, J.A. *Influência de doses de fósforo e de cultivos sucessivos nos níveis de fósforo e na sua absorção pelo milheto*. Viçosa, 1984. 65p. (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

- GOULD, M.S., GENETELLI, E.J. Heavy metal distribution in anaerobically digest sludges. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, Purdue University, n.30, p.689-699, 1975.
- GREENLAND, D.J., WILD, A., ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics-from myth to complex reality. In: LAL, R., SANCHES, P.A. *Myths science of soils the tropics*. Wisconsin: Copyright, 1992. p.17-33.
- GUZMAN, E.C., ESCOBAR, R.N., GARZA, A.M. Solubilizacion de rocas fosforicas nacionales mediante mezclado con azufre, fertilizante nitrogenado y estiercol de bovino, bajo fermentacion aerobica y anaerobica. *Agroc. México*, v.13, n.41, p.154-164, 1980.
- HAMMOND, E.G., HEPPNER, C., SMITH, R.J. Odors of swine waste lagoons. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Amsterdam-Netherlands, v.25, n.1, p103-110, 1989.
- HAMMOND, L.L., CHIEN, S.H., MOKWUNYE, A.U. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphathe rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.*, v.40, p.89-140, 1986.
- HAYHOE, H.N., DWYER, L.M., STEWART, D.W., WHITE, R.P., CULLEY, J.L.B. Tillage, hybrid and thermal factors in corn establishment in cool soils. *Soil & Tillage Res.* v.40, p.39-54, 1996.
- HEYLAR, K.R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R.J., BALIGAR, V.C., MURRNAN, R.P. *Plant-soil interacions at low pH*. Dordrecht: 1991, p.365-82.
- HOBSON, P.N., SUMMERS, R., HARRIES, C. Single and multi-stage fermenters for treatment of agricultural wastes. In: GRAINGER, J.M., LYNCH, J.M. *Microbiological methods for environmemtal biotechnology*. Orlando: Academic Press, 1984. p.139-57.
- HOYT, P.B., TURNER, R.C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH₄ and crop yelds. *Soil Sci.*, v.119, p.227-37, 1975.

- HUE, N.V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.23, p.241-64, 1992.
- HUE, N.V., AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.20, p.1499-511, 1989.
- HUNTER, D.J., YAPA, L.G.G., HUE, N.V., EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. *Commun. Sci. Plant anal*, v.26 p.375-88, 1995.
- IAMAMOTO, C.Y. *Efeito da taxa de carregamento orgânico volumétrico no desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura*. Rio Claro, 1999. 104p. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos/Gestão Integrada de Recursos) - Universidade Estadual Paulista.
- ISHIZUKA, M.I.A. *Biotecnologia no tratamento de dejetos de suínos*. Disponível em: <http://www.biotecnologia.com.br>. 2000, acesso em 23 jan. 2001.
- JORGE, J.A. Fósforo. In: MONIS, A.C., (Coord.). *Elemento de pedologia*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972. p.191-7.
- KIEHL, E. J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo. Agronômica Ceres, 1985. 192p.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes organominerais*. Piracicaba. 1993. 189p.
- KIEHL, E.J. *Manual de Compostagem "Maturação e qualidade do Composto"*. Piracicaba. 1998. 171p.
- KIRK, G.J.D., GEORGE, T., COURTOIS, B., SENADHIRA, D. Opportunities to improve phosphorus efficiency and soil fertility in rainfed lowland and upland rice ecosystems. *Field Crops Res.*, v. 56, p.73-92, 1998.
- KONZEN, E.A. *Manejo e utilização de dejetos de suínos*. Circ.Tec. CNPSA/EMBRAPA, n.6, p.1-32, 1983.

- KORNDÖRFER, G. H. *Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para as plantas de trigo*. Porto Alegre, 1978. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. *Sci. Agric.* (Piracicaba), v.56, n.2, 1999.
- LACERDA, T.H. M. *Estudo cinético da fase metanogênica de substrato da manipueira*. Botucatu, 1991. 91p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciência Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- LANARV Laboratório Nacional de Referência Vegetal. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes - métodos oficiais*. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Ministério de Agricultura, 1988. 104p.
- LEAL, J. R., VELLOSO, A. C. X. Adsorção de fosfatos em Latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras. Ser Agron.*, v.8, p.81-8, 1973.
- LEHR, J.R., McCLELLAN, G.H. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphathe rocks for direct application. Muscle Shoals. National Fertilizer Development Center, TVA, 1972. 36p.
- LOHER, R. C. Alternatives for the treatment and disposal of animal wastes. *WPFC, (Wat. Pollut. Control Fed.)*, v.43, n.4, p. 668-678, 1971.
- LOPES, A. S. *Comparação de métodos de determinação de fósforo orgânico e dinâmica das formas de P no solo sob diferentes tempos de incubação, doses de calcário e de fosfato*. Viçosa, 1992. 81p. (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese. In: FERRI, M.G. *Fisiologia vegetal 1*. 2. São Paulo: EPU, 1985. p.117-168.

- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicação*. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- MEDINA, M.A.Y. Anaerobic treatment and integral utilization of swine manure. In: WISE, D. L. (Ed). *International biosystems*. v.3, p.141-57, 1989.
- MIRANDA, H.A. *Influência da recirculação de efluentes e do tempo de retenção no desempenho de biodigestores operados com estrumes de suínos*. Botucatu, 1991. 137p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Energia na agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Efeito de material orgânico na acidez do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.17, p.411-16, 1993.
- MOREL, C., FARDEAU, J.C. Agronomical evaluation of phosphaste fertilizer as a nutrient source of phosphorus for crops: Isotopic procedure. *Ferti. Res*, v.24, n.2, p.115-22, 1990.
- MORSE, G.K., BRETT, S.W., GUY, J.A., LESTER, J.N. Review: Phosphorus removal and recovery technologies. *Sc. Total Environ.*, v.212, p.69-81, 1998.
- MUNDSTOCK, C.M. Ciclo de crescimento e desenvolvimento de seis cultivares de milho em quatro épocas de semeadura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DO MILHO, 8, 1970, Porto Alegre, *Anais...* Porto Alegre: Secretaria de Estados dos Negócios da Agricultura, 1970. p.18-29.
- NAHAS, E. *Ciclo do fósforo: transformação microbianas*. São Paulo: Funep, 1991. 67p.
- NG, W.J., CHIN, K.K. Biological treatment alternatives for piggery wastes. In: WISE, D. L. (Ed). *International Biosystems*. v.2, p.147-67, 1989.
- NOUGUEIRA, L.A.H. *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo. Nobel, 1986. 93p.

- NOVAES, R.F.V. Microbiology of anaerobic digestion. *Wat. Sci. Technol.*, v.18, n.12, p.1-14, 1986.
- NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. *Fósforo em solos e planta em condições tropicais*. Viçosa UFV, 1999, 399p.
- OLIVEIRA, A.J., LOURENÇO, S., GOEDERT, W.J. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. 326p.
- OLIVEIRA, I.P. *Resultados técnicos e econômico da aplicação de biofertilizante bovino nas culturas de feijão, arroz e trigo*. Goiânia. Circ. Tec. CNPAF/EMBRAPA, n.21, p.1-24, 1986.
- PAULA, I.F. *Tratamento biológico de águas residuárias de abatedouro de suínos*. São Carlos, 1982. 206p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PEIXOTO, R.T., G., ALMEIDA D.L., FRANCO, A.A. Efeito do lixo urbano compostado com fosfato natural na nodulação, crescimento e absorção de fósforo em feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.22, n.11, p.1117-32, 1987.
- PRETTE, A.P. *Biodigestão anaeróbia de dois tipos de esterco de suínos, fresco e seco ao ar, com e sem adição de inóculo*. Jaboticabal, 1991. 80p. (Monografia apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus Jaboticabal, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo).
- RAIJ, B., Quaggio, J.A. *Métodos de análises de solo para fins de fertilidade*. Bol. Tec. Inst. Agron. Campinas, n.81, p.1-31, 1983.
- RAIJ, B. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.10, p-235-39, 1986.
- RAIJ, B. ROSAND, P.C., LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. Doc./EMBRAPA, n,21, p.1-326, 1983.

- RAJAN, S.S.S., WATKINSON, J.H., SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. *Adv. Agron.*, v.57, p.57-77, 1996.
- RANTALA, P., WIROLA, H. Solid, slightly soluble phosphorus compounds as nutrient source in activated sludge treatment of forest industry wastewaters. *Wat. Sci. Technol.*, v.35, n.2/3, p.131-8, 1997.
- RIVERA-RAMIREZ, R., RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, G., RAZO-FLORES, E., BREMAUNTZ-MICHAVILA, M.D.P. Some aspects on the anaerobic digestion process. Part I. Microbiology. *Rev. Latinoam. Microbiol.*, v.35, n.4, p.451-8, 1993.
- ROSSI, C., ANJOS, A.R.M. CAMARGO, M.S., WEBER, O.L.S., IMHOFF, S., MALAVOLTA, E. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. *Sci. Agric. (Piracicaba)*, v.56, n.1, 1999.
- SANTOS, C.R.S, STAMFORD, N.P., SANTOS, D.R. Efeito do composto do lixo urbano suplementado com fósforo e da inoculação com *BRADYRHIZOBIUM* em caupi. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, n.16, p.25-30, 1992.
- SANTOS, G.A., CAMARGO F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Porto Alegre. Genesis, 1999. 491p.
- SANZONOWICZ, C., LOBATO, E., GOEDERT, W.J. Efeito residual da calagem e fontes de P numa pastagem estabelecida em solos de Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.22, n.3, p.233-43, 1987.
- SAW, H.S. Climate requirement. In: SPRAGUE, G.F., DUDLEY, J.W. *Corn and corn Improvement*. Madison: 1988. p.609-38.
- SCIVITTARO, W.B. *Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados líquidos e sólidos*. Piracicaba, 1993. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência/Energia Nuclear na

- Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SCIVITTARO, W.B., BOARETO, A.E., MURAOKA, T. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados fluídos e sólidos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.505-511, 1997.
- SHARPLEY, A.N., HALVORSON, A.D. The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. *Adv. Soil Sci.*, p.7-90, 1994.
- SILVA, L.C.F., MARAFON J.R.J., ELTRAME, J.A., ARAGÃO, J.A., ORLANDO FILHO, J. Adubação fluida na cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. *Bras. Açúcar.*, v.106, n.3, p.27-32, 1988.
- SILVA, P.R. *Lagoas de estabilização para tratamento de resíduos de suínos*. São Carlos, 1973. 76p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SPEECE, R.E. Review - Environmental requirements for anerobic of biomass. *Adv. Sol. Energy*. 1983. 69p.
- STAMS, A.J.M. Metabolic interactions between anaerobic bacteria in methanogenic environments. *Antonie Leeuwenhock*. v.66, p.271-94, 1994.
- STONE, P.J., SORENSEN, I.B., JAMIESON, P.D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. *Field Crops Res.* v.63, p.169-78, 1999.
- TEDESCO, M.J., SELBACH, P.A., CIANELLO, C., CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente In:_. *Fundamentos da matéria no solo: ecossistemas tropicais e subtrpoicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.159-95.
- THAME, A.C.M. *Água: a iminência da escassez*. São Paulo. s/d. 12p.

- TOLEDO, A.A.G. *Tratamento de águas residuárias de pocilgas, utilizando biodigestores UASB sob quatro tempos de retenção hidráulica*. Botucatu, 1996. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- TOLEDO, A.A.G.de, LUCAS JR., J. Produção de biogás a partir de águas residuárias de polciga, utilizando reator UASB sob quatro tempo de retenção hidráulica. *Energ. Agric.* (Botucatu), v.12, n.2, p.49-55, 1997.
- VOLKWEISS, S.J., RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4, 1976. Brasília. São Paulo, Itatiaia, 1977. p.317-32. (Coleção Reconquista do Brasil, 38).
- WAKSMAN, S.A. *Soil microbiology*. New York: John Wiley, 1963. 165p.
- WILLIAMS, D.E.G. The intensity and quantity aspect of soil phosphate status and laboratory extraction values. *Anal. Edafologia y Agrobiol.*, v.26, p.525-46, 1967.
- WONG, M.T.F., AKEAMPONG, E., NORTCLIFF, S., RAO, M.R., SWIFE, R.S. Initial responses of maize and beans to decreased concentrations of monomeric inorganic aluminium with application of manure or tree prunings to an oxisol in Burundi. *Plant Soil*, v.171, p.275-82, 1995.
- ZECH, Z., SENESI, N., GUGGERNBERG, G., KAISER, K., LEHMANN, J., MIANO, T.M, MILTNER, A., SCHOROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.69-116, 1997.