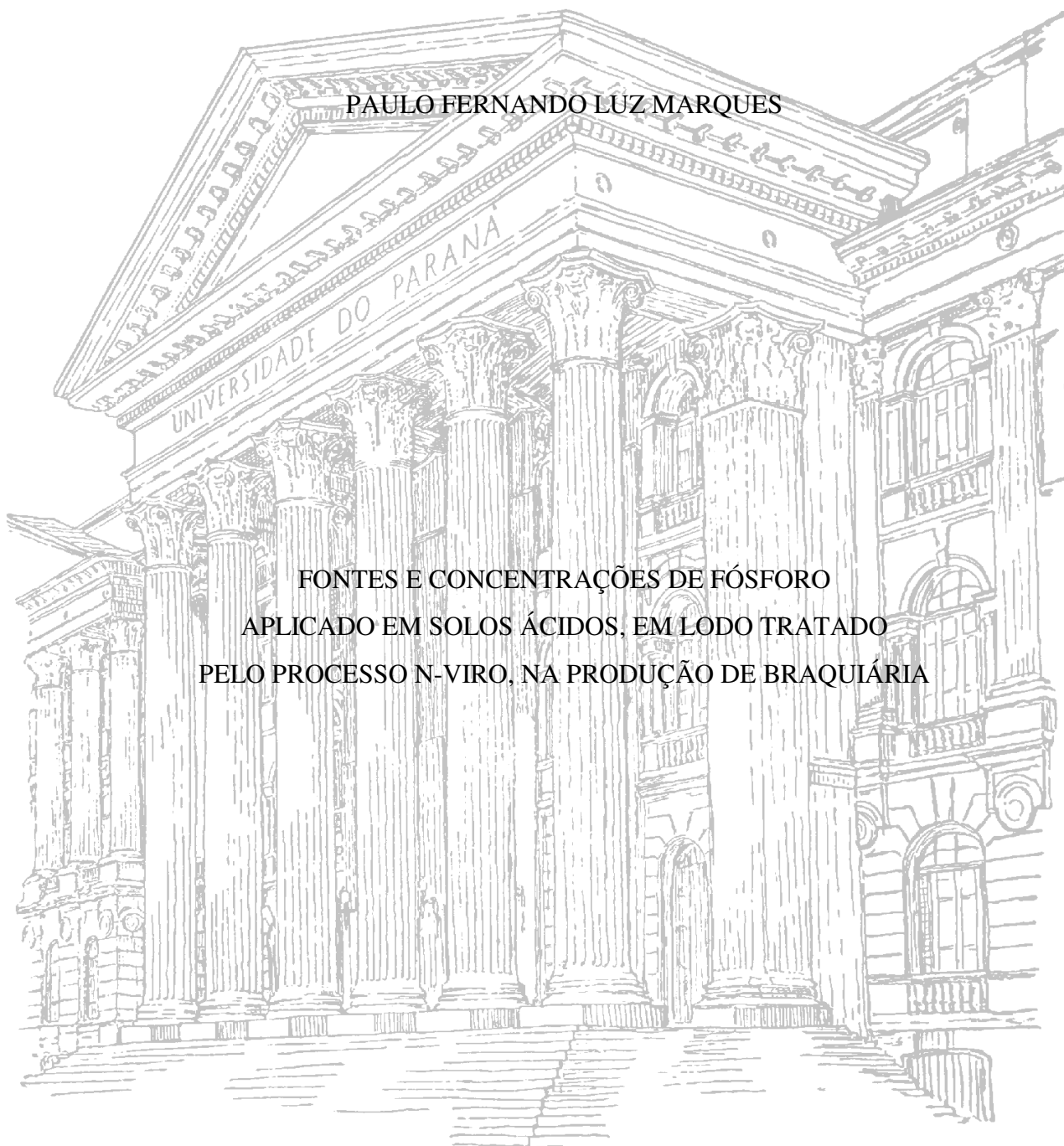


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

PAULO FERNANDO LUZ MARQUES

FONTES E CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO
APLICADO EM SOLOS ÁCIDOS, EM LODO TRATADO
PELO PROCESSO N-VIRO, NA PRODUÇÃO DE BRAQUIÁRIA



CURITIBA

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

Paulo Fernando Luz Marques

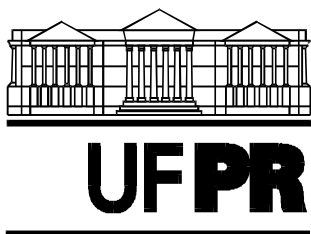
FONTES E CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO
APLICADO EM SOLOS ÁCIDOS, EM LODO TRATADO
PELO PROCESSO N-VIRO, NA PRODUÇÃO DE BRAQUIÁRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Luiz Antonio Corrêa Lucchesi
Co-orientador: Anibal de Moraes

CURITIBA

2009



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **PAULO FERNANDO LUZ MARQUES**, sob o título: "**Fontes e concentrações de fósforo aplicado em solos ácidos, em lodo tratado pelo Processo N-Viro, na produção de braquiária**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 20 de março de 2009.

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, Presidente

Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa, Iº. Examinador

Prof. Dr. Jetro Turan Salvador, IIº. Examinador

Prof. Dr. Aníbal de Moraes, IIIº. Examinador

Dedico este trabalho a Deus pelos dons recebidos;
a minha família, Regina, Antônio Ernesto, Pedro Henrique,
Izabel Christina e a minha neta Lara Christina;
aos meus pais, Maria Christina e Hernani (*in memoriam*)!

AGRADECIMENTOS

Agradecer é uma tarefa incômoda, pois não se consegue transmitir em palavras os sentimentos de amizade e fraternidade que nos une àqueles que durante toda esta caminhada nos ajudaram, tanto do ponto de vista prático como do ponto de vista de apoio intelectual.

Impossível citar a todos!

Ao Professor Dr. Padre Domenico Costella

Ao Professor Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi

Ao Professor Dr. Aníbal de Moraes

Ao Professor Dr. Jeferson Dieckow

À Regina e Antônio Ernesto

À amiga Andréa Valente Jankosz

Aos amigos: Thiago José Goulart de Melo e Álvaro de Quadros Neto

Aos Colegas de mestrado: Michele, Silmara e Elias

Aos Professores do Mestrado

Aos estagiários do curso de Engenharia Agrônômica da UFPR: Matheus Tschaen de Melo, Luiz e Murilo Parmezan

Aos funcionários dos Laboratórios de Fertilidade do solo, Biogeoquímica e Física do Solo: Roberto, Reginaldo, Aldair, José Roberto e D^a Elda.

Institucional: ao CNPQ que proporcionou a necessária tranquilidade e empenho nesta árdua tarefa.

A todos, agradeço!

Se és capaz de arriscar numa única parada,
Tudo o quanto ganhaste na tua vida,
E perder e ao perder, sem nunca dizer nada,
Resignado, tornar ao ponto de partida;
De forçar coração, nervos, músculos,
Tudo a dar seja o que for que neles ainda existe,
E a persistir assim quando, exausto, contudo,
Resta a Vontade em ti que ainda ordena: "Persiste"!

Rudyard Kipling

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. Hipótese.....	02
1.2. Objetivos.....	02
1.2.1. Objetivo Geral.....	02
1.2.2. Objetivos Específicos.....	03
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1. O fósforo em solos.....	04
2.2. Da disponibilidade de fósforo em solos.....	05
2.3. Das fontes de fósforo.....	05
2.4. Lodo de esgoto tratado pelo processo N-Viro.....	06
2.5. Extratores de fósforo do solo.....	08
2.6. Adubação de fósforo em pastagem.....	09
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Montagem e histórico dos experimentos.....	11
3.2. Estabelecimento dos tratamentos.....	12
3.3. Solos utilizados nos experimentos.....	15
3.3.1 Características químicas e físicas das unidades de solo.....	15
3.4. Origem do lodo de esgoto tratado pelo processo N-VIRO.....	16
3.5. Variáveis avaliadas.....	16
3.5.1 Efeito nos solos: características químicas dos solos.....	16
3.5.2 Efeito nas plantas: matéria seca e teor foliar de fósforo.....	18
3.5. Análise estatística.....	19

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Experimento com o solo de Arapoti.....	20
4.1.1. Efeito sobre as características químicas do solo.....	20
4.1.1.1 Efeitos sobre o pH em CaCl_2	20
4.1.1.2. Efeitos sobre o alumínio trocável.....	21
4.1.1.3 Efeitos sobre o cálcio trocável.....	22
4.1.1.4 Efeitos sobre a saturação da $\text{CTC}_{\text{total}}$ por cátions básicos trocáveis (V%).....	23
4.1.1.5 Efeitos sobre a saturação da $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ por alumínio trocável (m%).....	24
4.1.1.6 Efeitos dos tratamentos sobre fósforo extraível do solo.....	25
4.1.2. Efeitos sobre as plantas de braquiária no solo.....	27
4.1.2.1 Efeitos sobre a produção de matéria seca.....	27
4.1.2.2 Efeitos sobre a disponibilidade de fósforo.....	29
4.2. Experimento com o solo de Contenda.....	33
4.2.1. Efeitos sobre as características químicas do solo.....	33
4.2.1.1 Efeitos sobre o pH em CaCl_2	33
4.2.1.2. Efeitos sobre o alumínio trocável.....	34
4.2.1.3 Efeitos sobre o cálcio trocável.....	35
4.2.1.4 Efeitos sobre a saturação da $\text{CTC}_{\text{total}}$ por cátions básicos trocáveis (V%).....	36
4.2.1.5 Efeitos sobre a saturação da $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ por alumínio trocável (m%).....	37
4.2.1.6 Efeitos dos tratamentos sobre fósforo extraível.....	38
4.2.2. Efeitos sobre as plantas de braquiária no solo.....	40
4.2.2.1 Efeitos sobre a produção de matéria seca.....	40
4.2.2.2 Efeitos sobre a disponibilidade de fósforo.....	42
5. CONCLUSÕES.....	45
6. LITERATURA CITADA.....	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO DE ESGOTO TRATADO ALCALINAMENTE PELO PROCESSO N-VIRO (LTA) UTILIZADO NOS TRATAMENTOS.....	12
TABELA 2 - TRATAMENTOS UTILIZADOS EM CADA UM DOS 2 EXPERIMENTOS CONDUZIDOS RESPECTIVAMENTE EM 2 SOLOS DO PARANÁ, DISCRIMINAÇÃO DO TEOR DE P2O5 ADICIONADO À MISTURA COM LODO DE ESGOTO ALCALINO TRATADO PELO PROCESSO N-VIRO (LTA) E DOSES CORRESPONDENTES AOS TRATAMENTOS, DA MISTURA E DOS SEUS RESPECTIVOS INGREDIENTES.....	13
TABELA 3. DOSES APLICADAS POR UNIDADE EXPERIMENTAL (VASOS COM 2,5 kg DE SOLO) NOS RESPECTIVOS TRATAMENTOS UTILIZADOS EM CADA UM DOS 2 EXPERIMENTOS CONDUZIDOS RESPECTIVAMENTE EM 2 SOLOS DO PARANÁ.....	14
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS DE ARAPOTI-PR (LEa6) E DE CONTENDA-PR (LVa5) UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.....	15
TABELA 5 - GRANULOMETRIA E CAPACIDADE DE CAMPO DOS SOLOS DE ARAPOTI-PR (LEa6) E DE CONTENDA-PR (LVa5) UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.....	15
TABELA 6. CONTRIBUIÇÕES DO LTA (LODO DE ESGOTO TRATADO ALCALINAMENTE PELO PROCESSO N-VIRO) PARA CADA UM DOS TRATAMENTOS (TEORES TOTAIS).....	16
TABELA 7. MÉDIAS DE VARIÁVEIS QUÍMICAS INDICADORAS DA FERTILIDADE DO SOLO DE ARAPOTI AVALIADAS AO FINAL DO EXPERIMENTO COMPARADAS POR TUKEY A 5%.....	21
TABELA 8. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM VASO OBTIDA DE 6 CORTES DO SOLO DE ARAPOTI.....	28

TABELA 9. FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA PRODUZIDA EM 6 CORTES NO SOLO DE ARAPOTI.....	31
TABELA 10: MÉDIAS DE VARIÁVEIS QUÍMICAS INDICADORAS DA FERTILIDADE DO SOLO DE CONTENDA AVALIADAS AO FINAL DO EXPERIMENTO COMPARADAS POR TUKEY A 5%.....	33
TABELA 11: PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM VASO OBTIDA DE 6 CORTES DO SOLO DE CONTENDA.....	40
TABELA 12 - FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA PRODUZIDA EM 6 CORTES NO SOLO DE CONTENDA.....	43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: pH em CaCl_2 DO SOLO DE ARAPOTI AVALIADO AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADAS POR TUKEY A 5%.....	21
FIGURA 2: TEORES TROCÁVEIS DE ALUMÍNIO DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDOS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	22
FIGURA 3: CÁLCIO TROCÁVEL DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	23
FIGURA 4: SATURAÇÃO DE BASES DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	24
FIGURA 5: SATURAÇÕES DE ALUMÍNIO (m%) DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	25
FIGURA 6: FÓSFORO EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	27
FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CONTRIBUIÇÃO DOS 6 CORTES NA PRODUÇÃO TOTAL DE MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA PRODUZIDA EM VASO NO SOLO DE ARAPOTI AO FINAL DO EXPERIMENTO.....	28
FIGURA 8 - MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	29
FIGURA 9 - TEOR DE FÓSFORO DA MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA PRODUZIDA NO SOLO DE ARAPOTI OBTIDO DO QUARTO CORTE (DEZEMBRO/ 2008) DO EXPERIMENTO.....	30
FIGURA 10 - FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	31

FIGURA 11: pH em CaCl_2 DO SOLO DE CONTENDA AVALIADO AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADAS POR TUKEY A 5%.....	34
FIGURA 12: TEORES TROCÁVEIS DE ALUMÍNIO DO SOLO DE CONTENDA OBTIDOS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	35
FIGURA 13: CÁLCIO TROCÁVEL DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	36
FIGURA 14: SATURAÇÃO DE BASES DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	37
FIGURA 15: SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	38
FIGURA 16: FÓSFORO EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	39
FIGURA 17. DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CONTRIBUIÇÃO DOS 6 CORTES NA PRODUÇÃO TOTAL DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA PRODUZIDA EM VASO NO SOLO DE CONTENDA AO FINAL DO EXPERIMENTO.....	41
FIGURA 18 - MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	41
FIGURA 19: TEOR DE FÓSFORO DA MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA PRODUZIDA NO SOLO DE CONTENDA OBTIDO DO QUARTO CORTE (DEZEMBRO/2008) DO EXPERIMENTO.....	42
FIGURA 20: FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.....	44

FONTES E CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO APLICADO EM SOLOS ÁCIDOS, EM LODO TRATADO PELO PROCESSO N-UIRO, NA PRODUÇÃO DE BRAQUIÁRIA

Autor: Paulo Fernando Luz Marques

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi

Co-orientador: Prof. Dr. Aníbal de Moraes

RESUMO GERAL

A busca de sustentabilidade na exploração agropecuária exige, dentre outras práticas, a correção da acidez e a devolução aos solos dos nutrientes exportados pelas plantas e animais. A reciclagem agrícola de lodos de esgoto doméstico constitui-se em alternativa para se alcançar tal propósito. Para tanto, faz-se necessário o adequado tratamento de tais resíduos e a transformação de um outrora poluente em fonte limpa de nutrientes e de matéria orgânica para sistemas de produção. Para tanto o “Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Subseqüente Secagem Acelerada” (Processo N-Viro) tem-se revelado eficiente para converter lodos de esgoto em produto com propriedades adequadas à correção da acidez e fertilização dos solos, traduzindo-se numa interessante opção para livrar as cidades destes hoje passivos ambientais, e ao mesmo tempo devolver macro, micronutrientes e matéria orgânica aos campos de produção. No entanto, os Lodos Tratados pelo processo N-Viro (LTA) apresentam baixos teores de fósforo (P). O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade de se enriquecer lodo de esgoto tratado alcalinamente (LTA) com P, baseado na hipótese de que o fósforo, apesar de misturado a meio alcalinizado, quando em contato com solos ácidos, tornar-se-ia disponível às plantas de braquiária. Para tanto, se utilizou 3 fontes de P, Super Fosfato Simples (SS), Super Fosfato Triplo (ST) e um Fosfato Natural Parcialmente Acidulado (FPA), que foram misturadas a um LTA sob 3 concentrações (1, 2 e 4% de P_2O_5). As misturas foram aplicadas em 2 solos do Paraná (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de Arapoti-PR e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico de Contenda-PR) em vasos, em 2 experimentos conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 4 repetições, onde se cultivou braquiária (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf em sucessão à feijão. As doses das misturas foram calculadas para se ter uma quantidade equivalente a 105 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Os resultados demonstraram aumento no pH e no teor extraível de P de ambos os solos. A testemunha obteve a maior correção de pH, mas a disponibilidade de P para as plantas, foi maior para os tratamentos com superfosfato simples. Conclui-se que as misturas LTA + P podem se constituir em uma maneira eficiente de se, concomitantemente, corrigir a acidez e elevar o teor de P dos solos e se disponibilizar P às plantas.

Palavras-chave: Fósforo. N-Viro. Lodo. Reciclagem. Pastagem. Braquiária.

BRACHIARIA PRODUCTIVITY AND PHOSPHOROUS DOSES AND CONCENTRATION IN SEWAGE-SLUDGE TREATED BY THE N-VIRO PROCESS.

Author: Paulo Fernando Luz Marques

Advisor: Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi

Co- Advisor:: Prof. Dr. Aníbal de Moraes

ABSTRACT

The search for sustainability in agricultural exploration requires, among other practices, excessive soil acidity neutralization and the return to the exploited areas the nutrients exported by plants and animals. Agricultural recycling of sewage sludge constitutes an alternative to reach such goal. Thus, there is a necessity for the adequate treatment of such wastes and their transformation into a clean source of nutrients and organic matter for soils, instead of leaving them as a point and non point sources of pollutants. For that purpose the "Advanced Alkaline Stabilization with Subsequent Accelerated Drying" Process (AASSAD), also known as N-Viro Process, has been proved to be an efficient alternative to convert sewage sludge in products with adequate properties to be used both as neutralizing agents of the excessive soil acidity and as a fertilizer. This is an interesting option for cities to get rid of such residues and, at the same time, provide the return of macro, micronutrients and the organic matter to the agricultural fields. However, the sewage sludge treated by such process (AASSAD), N-Viro Soil (LTA), shows low levels of phosphorus (P). The objective of this study was to evaluate the feasibility to enrich an LTA with P, based on the hypothesis that, despite of the mixture between P sources with an alkaline sludge, after the mixture is applied to an acidic soil P will become available for *Brachiaria* sp plants. For testing that, one used 3 sources of P, Simple Super Phosphate (SSP), Triple Super Phosphate (TSP) and Natural Phosphate Partially Acidulated (NPPA), which were mixed with an N-Viro Soil (LTA) under 3 concentrations (1, 2 and 4% P₂O₅). The mixtures were applied to 2 oxisols from Paraná State, Brazil (Reddish Oxisol from Arapoti-PR and Reddish-Yellow from Contenda-PR), in pots, organized in 2 experiments conducted under a completely randomized design (CRD) with 4 replicates, in which *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf was cultivated in succession of beans (*Phaseolus vulgaris*). The mixture doses were calculated in order to provide the equivalent of 105 kg ha⁻¹ of total P₂O₅. Both soil pH and extractable P results showed were increased by the treatments in both soils. The control plots had shown the highest pH values. The P availability for plants was higher for the treatments with simple superphosphate. One concludes that the blend between a LTA (N-Viro Soil) with sources of P may constitute an efficient way to concomitantly neutralize soil acidity and improve soil P availability to plants.

Keywords: Phosphorus. N-Viro. Sewage Sludge. Recycling. Pasture, *Brachiaria*

1 INTRODUÇÃO

A crise ecológica que se vivencia sinaliza para uma escassez dos recursos naturais, os quais vêm sendo utilizados no limite de sua capacidade para suportar as necessidades humanas (FOLADORI, 2001). Há também, uma crescente demanda por alimentos e por outros bens que pressionam a expansão das áreas cultivadas trazendo reflexos indesejáveis aos solos. Este fato vem se agravando com a crescente concentração humana em cidades, o que tem gerado uma grande quantidade de resíduos como o lixo urbano e de lodos de esgoto doméstico em espaços pontuais, até mesmo na proximidade de rios e de outros corpos d'água. A produção de lodos de esgotos é uma característica intrínseca aos processos de tratamento de esgotos e tende a crescer proporcionalmente ao crescimento da população humana (CONAMA, 2006). Portanto, tais resíduos, se devidamente tratados, podem ser reciclados e se transformarem em excelentes insumos para uso agrícola, proporcionando vários efeitos benéficos: melhoria da fertilidade do solo e da economia agrícola e despoluição de bacias hidrográficas hoje utilizadas como mananciais.

Considerando-se esta perspectiva e assumindo-se que a reciclagem agrícola de lodos de esgoto é uma atividade que contribui para a sustentabilidade da exploração agrícola, pois permite repor nutrientes que foram exportados pelas culturas e consequentemente repondo a fertilidade, e em consequência uma menor demanda por novas áreas. Porém, para se alcançar esta meta, cabe buscar alternativas para se estimular o produtor rural a adotar tal prática, inclusive como estratégia para contribuir com a despoluição de centros urbanos. Idealizou-se o presente trabalho, em razão da baixa concentração de fósforo (P) nos lodos. Neste contexto, o enriquecimento de lodo de esgoto tratado pelo processo N-Viro com fósforo (P) atrairá ainda mais o interesse dos agricultores na sua utilização.

Apesar de existirem vários estudos sobre o comportamento do P e de sua utilização pelas culturas em solos brasileiros, inexistem trabalhos com a conotação acima apresentada, o que justifica o presente. Ou seja, a literatura apesar de já responder de forma profícua sobre diversos aspectos relativos ao fósforo e mais recentemente também sobre a possibilidade de se utilizar LTA como corretivo da acidez de solos e como fonte de vários nutrientes, deixa dúvidas e indagações sobre o comportamento, disponibilidade, vantagens e desvantagens sobre o seu enriquecimento com P, as quais somente poderão ser respondidas por meio de novos trabalhos experimentais.

Assim sendo, o presente trabalho, ainda que exploratório, pretendeu, por meio de experimento conduzido em vasos sob condições controladas, traçar alguns caminhos neste sentido. Espera-se assim estar contribuindo para entender às seguintes questões:

1. É possível se enriquecer lodos de esgoto tratados pelo Processo N-Viro com P a partir de sua mistura com diferentes fontes?
2. Tendo em vista que os Lodos Tratados pelo Processo N-Viro (LTA) são uma substância que em água gera pH alcalino (pH ~12), possuindo Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT ~67%) e detendo altos teores de Ca e de Mg, tal mistura promoveria a indisponibilidade de P, mesmo após sua aplicação em solos ácidos?
3. No caso de ser viável a mistura de P a LTA, qual a melhor fonte para o seu enriquecimento?
4. E finalmente, qual seria a concentração mais adequada de P para a mistura?

1.1 HIPÓTESE

O fósforo, apesar de misturado à meio alcalino, no caso lodo de esgoto tratado pelo "Processo de Estabilização Alcalina com Subseqüente Secagem Acelerada" (Processo N-Viro), quando em contato com solos ácidos, tornar-se-á disponível à plantas de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf neles cultivadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi o de se testar a viabilidade de enriquecimento de um lodo de esgoto urbano tratado pelo Processo N-Viro, com fósforo (P) derivado de 3 fontes e sob 3 concentrações, utilizando-se para avaliar a sua disponibilidade em solos braquiária (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf) cultivada em sucessão a feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), 10 meses após a aplicação dos tratamentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto tratado pelo Processo N-Viro (LTA + P) e enriquecido com 3 fontes sob 3 concentrações de P sobre as seguintes características químicas de 2 solos: pH CaCl₂, pH SMP, Al³⁺, H₀ + Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Saturação de Bases (V%) e C.
2. Mensurar os teores de P no solo extraíveis pelos método de Mehlich 1 após o cultivo de feijão, seguido por braquiária.
3. Avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto tratado pelo Processo N-Viro (LTA + P) e enriquecido com 3 fontes sob 3 concentrações de P sobre a produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cultivada em vaso em 2 solos do Paraná.
4. Avaliar a concentração de P da matéria seca e a quantidade de P removida dos solos pela *Brachiaria brizantha* cultivada em vaso.
5. Avaliar a disponibilidade de P misturado com LTA, a partir de diferentes fontes e concentrações, para *Brachiaria brizantha* cultivada em 2 solos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O FÓSFORO EM SOLOS

Segundo CORRÊA et al. (2005) “os fertilizantes fosfatados, de modo geral, apresentam baixa eficiência de utilização pelas culturas”. Essa realidade faz com que as doses aplicadas sejam altas, elevando-se o custo de produção. O aumento da disponibilidade de P para as plantas pode ser obtido mediante o manejo correto da adubação fosfatada, particularmente quanto à fonte utilizada e ao modo de aplicação, devendo a adubação fosfatada considerar as capacidades de adsorção específica de P pelos distintos solos. Ressalte-se que o P é o nutriente que apresenta a maior variação quanto aos tipos de fertilizante disponíveis no mercado (SOUSA et al., 2004).

Segundo LOPES (2004) há uma deficiência generalizada de P na grande maioria dos solos brasileiros. As interações que ocorrem entre este nutriente aplicado via adubação e o solo dependem de vários fatores, em especial do tipo de solo, do teor de argila e do seu grau de intemperismo. Segundo NOVAIS et al. (1999), os adubos, após sua aplicação, são adsorvidos à fase sólida do solo, o que afeta seu suprimento às plantas. Assim, solos mais intemperizados têm predominância de cargas positivas, responsáveis pela adsorção específica de P, que aumentam a medida em que estas cargas vão aumentando.

Solos altamente intemperizados são mais eletropositivos, portanto detentores de maior capacidade de adsorção aniônica. Assim sendo, a fase sólida de solos jovens pode ser considerada como fonte de P, enquanto que a fase sólida de solos muito intemperizados pode se vista como “dreno” para o P, como é o caso dos LATOSSOLOS do Cerrado brasileiro (NOVAIS et al., 1999).

Outro aspecto a se considerar é a quantidade de P presente na solução do solo, fração esta prontamente disponível para a absorção pelas plantas. Tal quantidade é ínfima quando se considera as necessidades de P requeridas pelas plantas durante o seu ciclo. Assim sendo, a diferença entre a necessidade de P-total requerido pelas plantas e o P prontamente disponível na solução levou ao desenvolvimento dos conceitos de P-solução denominado de *fator intensidade (I)*, representando o P que se encontra disponível momentaneamente para a absorção das plantas e o de P-quantidade, denominado *fator de quantidade (Q)*, representando o P total necessário à nutrição da planta durante o seu ciclo e a interdependência entre Q/I é

denominada *fator capacidade* (FCP), o qual tende a permanecer constante, mesmo quando se aduba o solo. Aumentando-se e mantendo o solo com altos níveis de matéria orgânica tem-se um aumento na disponibilidade de P-orgânico. Em solos intemperizados (como os solos do cerrado) tal parcela é muito importante para a manutenção do *poder fonte* de P para tais solos (NOVAIS et al., 1999).

2.2 DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS

O P é um nutriente com baixo aproveitamento pelas culturas anuais, aproveitamento este da ordem de 10% do P aplicado como fertilizante (RAIJ, 2004). O P-adubo em contato com o solo rapidamente forma diversos compostos metaestáveis agrupados pela denominação de P-lábil que, com o tempo, evoluem para ligações químicas mais estáveis, P-não lábil. A adsorção de P é diretamente relacionada com o teor argila e com o intemperismo dos solos e a relação Q/I será maior em solos com menor adsorção como os arenosos e os argilosos menos intemperizados (NOVAIS et al., 1999).

Além disto, deve-se considerar que a eficiência agronômica dos adubos sofre variações determinadas pela fonte, dose, modo de aplicação e granulometria (SOUSA et al., 2004). Também as misturas entre adubos podem afetar a disponibilidade dos nutrientes envolvidos para as plantas. MALAVOLTA et al. (1974) citam a incompatibilidade de se fazer misturas entre adubos fosfatados com fontes de cálcio. Contudo, a disponibilidade de P-orgânico aumenta com a manutenção da matéria orgânica dos solos, este fato é preponderante em solos intemperizados onde tal parcela torna-se o fator mais importante para a manutenção do *poder fonte* de P (NOVAIS et al., 1999).

2.3 DAS FONTES DE FÓSFORO

CORRÊA et al. (2005), avaliando a eficiência do fosfato natural de Gafsa e de superfosfato triplo em dois solos com diferentes FCP, observaram que em ARGISSOLO AMARELO (com menor FCP) o fosfato natural de Gafsa, quando incorporado, foi tão eficiente quanto o superfosfato triplo no aumento da produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho. Contudo isto não ocorreu quando da utilização de um LATOSSOLO AMARELO com maior FCP. Uma das possibilidades para isso teria sido a menor solubilização do fosfato natural causada por maiores teores de Ca no solo. Efeito não ocorrido

com o superfosfato triplo que apresentou maior absorção de P pelas plantas de milho em ambos os solos e modos de aplicação.

O superfosfato triplo, segundo PROCHNOW et al. (2004), forma-se através do tratamento de rocha fosfática com ácido fosfórico, conforme a reação simplificada: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 14 \text{H}_3\text{PO}_4 + 10 \text{H}_2\text{O} = 10 \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \text{HF}$. Este fertilizante contém 41% de P_2O_5 , 12 a 14% de Ca solúvel em citrato neutro de amônia mais água (CNA) e 37% de P_2O_5 solúvel em água (SBCS, 2004). Segundo SOUSA et al. (2004), o superfosfato triplo um adubo de elevada eficiência agronômica, amplamente recomendado para qualquer condição de solo.

O superfosfato simples, segundo PROCHNOW et al. (2004), forma-se a partir da ação sofrida pela rocha fosfática quando em contato com ácido sulfúrico, conforme a reação simplificada: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 7 \text{H}_2\text{SO}_4 = 3 \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 7 \text{CaSO}_4 + 2 \text{HF}$. Este fertilizante contém 18 % de P_2O_5 , 12 a 20% de Ca e 10 a 12% de S solúvel em citrato neutro de amônia mais água (CNA) e 16% de P_2O_5 em água, (SBCS, 2004).

Fosfatos naturais parcialmente acidulados (FNPA) são fabricados a partir de rocha fosfática, apatita, contendo fosfato natural (FN) que são atacadas com ácidos fortes. Os FNPA resultantes têm uma solubilidade proporcional à parcela de rocha atingida pelo tratamento ácido (SBCS, 2004).

2.4 LODO DE ESGOTO TRATADO PELO PROCESSO N-VIRO

O “Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Secagem Acelerada”, também conhecido pela literatura internacional como Processo N-Viro, é um processo tecnológico para tratamento de rejeitos bio-orgânicos patenteado pela empresa *N-Viro Corporation*, de Ohio-EUA, cujo produto, N-Viro Soil, pode ser utilizado em solos como fonte de nutrientes e de correção da acidez (SALVADOR, 2006; LUCCHESI, 1997; LOGAN et al. 1995; LOGAN et al., 1993; BURNHAM et al., 1992).

Utiliza-se neste processo o lodo de esgoto adicionado a ingredientes alcalinos, incubando-se tal mistura alcalina durante certo tempo com vistas à sua pasteurização, após o que um revolvimento mecânico promove a secagem acelerada da massa. A mistura alcalina

em contato com os biossólidos do lodo provoca uma reação química, o *heat pulse* (pulso de calor), que eleva a temperatura da massa para 52 – 62 °C que assim permanece por 12 horas, ao mesmo tempo em que seu pH alcança 12 ou mais. Ao final do tratamento o teor de sólidos da massa alcança mais de 50%. O controle rígido de temperatura combinado com outros estresses promove a eliminação de bactérias e de outros patógenos (N-Viro, 2007).

Deste modo, o Processo N-Viro estabiliza e pasteuriza o lodo de esgoto, reduzindo seus odores a níveis aceitáveis, neutralizando ou imobilizando vários componentes tóxicos gerando o N-Viro Soil, produto que é classificado como de 'exceptional quality' - EQ sob a legislação norte-americana (N-Viro, 2007) e que pode ser usado em solos agrícolas e para a recuperação de áreas degradadas (SALVADOR, 2006).

Segundo TAKIGUCHI et al. (2006) há uma interação entre os elementos minerais que interferem na liberação de P de lodo de esgoto aquecido indicando que a disponibilidade de P diminui com o aumento de Al, Mg e Ca dissolvidos na água de esgoto. Para TANWAR et al. (2006) há uma baixa eficiência da remoção de fósforo presentes em águas residuárias. Em LOPES et al. (2005) o lodo de esgoto oriundo da ETE de Jerônimo Monteiro, ES, utilizado para se testar a produção de alface, apresenta um teor de 0,38% de P, recomendando que se faça o enriquecimento do mesmo com uma fonte de fosfato solúvel. Mas, NASCIMENTO et al. (2004) trabalhando com lodo de esgoto obtido pela Companhia Pernambucana de Saneamento, produto não calado, portanto ácido e obtendo na análise do produto um teor de P de 4,5 %, observou há necessidade de suplementação com fertilizante mineral ou doses de lodo maiores que a máxima utilizada neste experimento que foi equivalente a 60 Mg.ha⁻¹.

Disto conclui-se que se deve esperar, nos lodos de esgoto, baixas concentrações de P, disponíveis às plantas, particularmente quando este nutriente for diluído em outras substâncias, como é o caso daqueles tratados pelo Processo N-Viro.

Vários são os trabalhos que comprovam a eficácia do uso de lodos de esgoto tratados alcalinamente (LTA) pelo Processo N-Viro Soil como fonte de nutrientes e de correção da acidez para solos agrícolas (SECCO, 2007; SALVADOR, 2006; SCHMIDT FILHO, 2006; LUCCHESI, 1997). Cabe também ressaltar que lodos tratados alcalinamente pelo Processo N-Viro atendem à legislação americana no que concerne especificamente à CFR 40 Part 503 que estabelece os "Padrões para o uso ou descarte de lodo de esgoto" nos EUA (USEPA, 1996; USEPA, 1994), e são por ela classificados como "Process of to Further Reduce Pathogens",

não geram odores e não atraem vetores (BURNHAM et al., 1992). Segundo a legislação brasileira que atualmente rege a reciclagem agrícola de lodos de esgoto domésticos no Brasil, a Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006), os LTA tratados pelo Processo N-Viro seriam classificados como Classe A por serem enquadrados em "processos de redução adicional de patógenos e atratividade de vetores".

Nos EUA, lodos de esgoto classificados como Classe A, podem ser utilizados livremente, não somente em pastagens, mas também em jardins, parques e praças. Considerando-se as informações registradas na 82^a. reunião ordinária do Conama, ocasião em que se aprovou a Resolução 375/2006, conclui-se que no Brasil tais produtos também deveriam ter obtido permissão para este uso específico. No entanto, isto não ocorreu, muito provavelmente pela desconfiança do MAPA (Ministério da Agricultura e da Pecuária do Brasil) com relação aos agentes atualmente envolvidos no processo reciclagem agrícola, quanto à real eliminação de parasitos e patógenos de lodos de esgoto.

2.5 EXTRATORES DE FÓSFORO DO SOLO

SILVA et al. (1999), comparando extratores, concluíram que o extrator Mehlich 1 aumenta a extração de P quando este estiver ligado a Al, Mg e Ca. Portanto, em solos onde se aplicou fosfato natural pode-se obter resultados de P que não apresentam a verdadeira capacidade das plantas de absorverem-no. Já a utilização da resina trocadora de ânions alcança uma correlação de 70% entre o P no solo e o P absorvido pela planta, principalmente em solos com pH corrigido.

NAKAYAMA (1988) analisando a eficiência agronômica dos fosfatos solúveis em ácido cítrico a 2% com fosfatos solúveis em água comparou a sua disponibilidade no solo por meio da utilização dos extratores de Mehlich 1 e da resina trocadora de ânions. Os coeficientes de correlação obtidos entre P extraído do solo e produção de matéria seca foram de respectivamente: resina $r = 0,82$; e Mehlich 1 $r = 0,08$.

CORRÊA (1993) comparando os extratores de Mehlich 1 e Resina para se avaliar o P disponível em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, álico cultivado com as gramíneas *Brachiaria decumbens* Stapf, *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf cv. Marandú e *Panicum maximum* Jacq. As correlações entre o P extraído pelos extratores quando comparados com a produtividade relativa de matéria seca (MS) e com o teor de P na planta, permitiram ao autor

concluir que os dois extratores foram eficientes na avaliação da disponibilidade de P no solo, sendo que para este solo, onde prevalecem os óxidos de Fe e Al, o método da Resina foi superior ao Mehlich 1 que tem preferência pelos fosfatos de Ca.

2.6 ADUBAÇÃO DE FÓSFORO EM PASTAGEM

SOUSA (1987) observa que capins do gênero *Brachiaria* possuem uma grande variação da concentração de minerais essenciais na planta que ocorrem em função de fatores como: “idade da planta, diferença entre espécie e variedades, tipo do solo, adubação, estação do ano e intervalo entre cortes”. Em *B. decumbens*, citando resultados de SERRÃO (1982) apresenta esta variação para fósforo em função da amplitude do intervalo entre cortes ou pastejos, indicando para o intervalo de 30 a 45 uma concentração de 0,1%, que cai para 0,08% quando se aumenta este intervalo para 60 a 90 dias. GOMIDE (1994) afirma que “o valor nutritivo das *Brachiarias* é determinado pela idade da planta, manejo, adubação...” e citando NARVAEZ (1989) mostra que a concentração média de fósforo em *B. brizantha* está na faixa de 0,1% do teor de matéria seca.

PEREIRA (1987) abordando sobre solos destinados à exploração pecuária, afirma que há predominância para os de *baixa fertilidade natural* e que as pastagens só ocupam áreas de melhor fertilidade após ter havido uma *exploração inicial* com agricultura. Afirma, também, que para os solos brasileiros o fósforo é o nutriente de maior carência, mesmo em solos de média fertilidade. Comenta que há vários trabalhos sobre resposta de gramíneas à *doses e fontes de P*, e cita tabela de AZEVEDO et alii (1982), concluindo que de modo geral as *Brachiarias* e em específico a *B. brizantha* são altamente responsivas à adubação com fósforo. WERNER (1994) cita a deficiência de P nos solos brasileiros utilizados por pastagens e que esta deficiência é *acentuada particularmente na implantação das pastagens, mesmo as de braquiárias*.

ZIMMER, A. H. et al.(1994) indica que a área plantada anualmente com gramíneas do gênero *Brachiaria* é de aproximadamente 4 milhões de ha e a *B. brizantha* ocupa 60% desta área, fato que demonstra a importância das *Brachiarias* para a pecuária nacional. Porém, observa que existe uma queda de produtividade desta espécie após anos de utilização, ressaltando que isto ocorre principalmente em função: *mau estabelecimento, manejo inadequado, compactação e queda de fertilidade do solo*.

A degradação de pastagens torna a atividade alvo de críticas de setores da sociedade que não possuem conhecimentos na área. Pode-se ver em GREGOLIN (1986) que a queda de produtividade em pastagem se deve a muitos fatores: “empobrecimento do solo, compactação do solo, excesso de lotação, escassez de chuvas”; neste sentido este trabalho vem contribuir como uma ferramenta para recuperação de pastagens.

ZIMMER, A. H. et al.(1994) comenta que a calagem, *além de fornecer Ca e Mg, eleva o pH do solo e*, “como consequência, aumenta a disponibilidade de P e Mo e neutraliza o Al, o Mn e o Fe.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho constitui-se na segunda de 2 fases experimentais de um projeto mais amplo no qual se pretendeu avaliar a possibilidade de se enriquecer lodos de esgoto urbano tratados pelo Processo N-Viro, com fósforo (P) derivado de diferentes fontes e de se determinar qual a melhor combinação para tanto. Na primeira fase do trabalho, SILVA (2007) avaliou a produtividade e a disponibilidade de P para feijoeiro cultivado em 2 solos do Paraná, imediatamente após a aplicação de um Lodo Tratado Alcalinamente (LTA) pelo Processo N-Viro misturado a 3 fontes sob 3 concentrações de P (SILVA et al., 2007). Em continuidade a SILVA (2007), conduziu-se a segunda fase da pesquisa, objeto do presente trabalho, o qual avaliou o efeito residual dos mesmos tratamentos sobre *Brachiaria brizantha*, trabalho este que também virá a embasar a reciclagem agrícola em pastagens sob a atual legislação brasileira, Resolução Conama 375/2006 (BRASIL, 2006), que estabelece um prazo mínimo de 2 anos para a entrada de bovinos em áreas de pastagem que sofreram a aplicação de lodos de esgoto domiciliar.

3.1 MONTAGEM E HISTÓRICO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram montado sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), cada um com 10 tratamentos e 4 repetições, e que totalizaram 40 unidades experimentais por experimento. Cada experimento foi conduzido em solo com distintas propriedades e origem: *LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO A moderado textura média fase cerrado e cerradão subtropical relevo suave ondulado* (LEa₆) de Arapoti PR e *LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO podzólico A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo ondulado* (LVa₅) de Contenda PR. Os tratamentos consistiram da combinação de 3 fontes de fósforo misturadas, sob 3 concentrações, a um Lodo de Esgoto Tratado Alcalinamente (LTA) pelo Processo N-Viro, que foram comparadas a uma testemunha em que o LTA não foi misturado a P. Os experimentos foram conduzidos em vasos na casa de vegetação no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, no Campus I, do Bairro Juvevê em Curitiba PR. Ao final do experimento avaliou-se os efeitos na fertilidade do solo e na produtividade de Marandú *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf, cultivar Marandú.

3.2 ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS

Para as misturas de LTA com os adubos fosfatados foram utilizadas as seguintes fontes de P: Superfosfato Simples (SS); Superfosfato Triplo (ST); e Fosfato Natural Parcialmente Acidulado (FNPA), para o qual se utilizou o Maxifós 2b originado da região de Registro SP e distribuído em Ponta Grossa PR. A partir de cada uma destas fontes, adicionou-se ao LTA os seguintes teores de P_2O_5 : 1; 2; e 4%.

Para tanto, considerou-se para os adubos utilizados os seguintes teores totais de P_2O_5 obtidos por SILVA (2007): FNPA 19,34%; Super Simples 14,74% e Super Triplo 44,70%. As características físico-químicas do Lodo de Esgoto Tratado Alcalinamente pelo Processo N-Viro (LTA) pode ser observada na TABELA 1.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO DE ESGOTO TRATADO ALCALINAMENTE PELO PROCESSO N-VIRO (LTA) UTILIZADO NOS TRATAMENTOS.

PN	PRNT	N	P_2O_5	K_2O	S	Ca	Mg	CaO	MgO
Eq $CaCO_3$	----- (%) -----								
93,38	67,54	0,49	0,35	0,07	0,10	19,29	11,03	27,01	18,31

Fonte: Adaptado de SILVA (2007).

Foram testados 10 tratamentos. O primeiro tratamento (Tratamento 1), consistiu na aplicação de LTA puro, na dose de $10.500 \text{ kg ha}^{-1}$. Os demais nove tratamentos (Tratamentos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10) consistiram da aplicação ao solo, em ambos os experimentos, da dose de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 obtida a partir do teor adicionado à mistura de LTA com o adubo fosfatado. Os tratamentos estão discriminados na TABELA 2.

TABELA 2 - TRATAMENTOS UTILIZADOS EM CADA UM DOS 2 EXPERIMENTOS CONDUZIDOS RESPECTIVAMENTE EM 2 SOLOS DO PARANÁ, DISCRIMINAÇÃO DO TEOR DE P_2O_5 ADICIONADO À MISTURA COM LODO DE ESGOTO ALCALINO TRATADO PELO PROCESSO N-VIRO (LTA) E DOSES CORRESPONDENTES AOS TRATAMENTOS, DA MISTURA E DOS SEUS RESPECTIVOS INGREDIENTES

Tratamentos		Discriminação da mistura com LTA		Dose da mistura	Dose das fontes de P			
		Fonte de fósforo	Teor adicionado de P_2O_5 (%)	LTA + Fontes P ($kg\ ha^{-1}$)	LTA	FNPA	SS	ST
1	LTA 0%	-	0	10500	10500	-	-	-
2	LTA + FNPA 1%	Fosfato Natural Parcialmente acidulado 1%	1	10500	9957	543	-	-
3	LTA + FNPA 2%	Fosfato Natural Parcialmente acidulado 2%	2	5250	4707	543	-	-
4	LTA + FNPA 4%	Fosfato Natural Parcialmente acidulado 4%	4	2625	2082	543	-	-
5	LTA + SS 1%	Super Fosfato Simples 2%	1	10500	9788	-	712	-
6	LTA + SS 2%	Super Fosfato Simples 1%	2	5250	4538	-	712	-
7	LTA + SS 4%	Super Fosfato Simples 4%	4	2625	1913	-	712	-
8	LTA + ST 1%	Super Fosfato Triplo 1%	1	10500	10265	-	-	235
9	LTA + ST 2%	Super Fosfato Triplo 2%	2	5250	5015	-	-	235
10	LTA + ST 4%	Super Fosfato Triplo 4%	4	2625	2390	-	-	235

Fonte: Adaptado de SILVA (2007).

O estabelecimento dos tratamentos se deu de modo a se elevar a saturação de bases (V_2) dos solos utilizados para 64% (em torno de 60-70%) utilizando-se da fórmula $NC = \{(V_2 - V_1) T\} / PRNT$ e a se atender à dose de P_2O_5 recomendada para o feijoeiro conforme SBCS (2004). Desta forma, em 11/Julho/2006, SILVA (2007) implementou o tratamento 1 (LTA + 0% de P_2O_5), e os tratamentos de 2 a 10, todos descritos na TABELA 2, de forma a se proporcionar o equivalentes à dose de $105\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 a partir a partir do teor de P_2O_5 adicionado à mistura com LTA. O detalhamento das doses embutidas nos tratamentos implementados por unidade experimental (vasos com 2,5 kg de TFSA, Terra Fina Seca ao Ar) encontra-se na TABELA 3. Os ingredientes da mistura LTA + Fontes de P foram misturados nas proporções indicadas na TABELA 3 e após isso aplicados e então misturados ao solo por SILVA (2007). Para tanto, assumiu-se que a massa de 1 ha corresponde a 2.000.000 kg de solo.

TABELA 3. DOSES APLICADAS POR UNIDADE EXPERIMENTAL (VASOS COM 2,5 kg DE SOLO) NOS RESPECTIVOS TRATAMENTOS UTILIZADOS EM CADA UM DOS 2 EXPERIMENTOS CONDUZIDOS RESPECTIVAMENTE EM 2 SOLOS DO PARANÁ.

Tratamentos		Discriminação da mistura com LTA		Dose da mistura	Dose das fontes de P			
		Fonte de fósforo	Teor adicionado de P_2O_5	LTA + Fontes P	LTA	FNPA	SS	ST
			(%)	(g vaso ⁻¹)	(g vaso ⁻¹)			
1	LTA 0%	-	0	13,1	13,1	-	-	-
2	LTA + FNPA 1%	Fosfato Natural Parcialmente acidulado 1%	1	13,1	12,4	0,7	-	-
3	LTA + FNPA 2%	Fosfato Natural Parcialmente acidulado 2%	2	6,6	5,9	0,7	-	-
4	LTA + FNPA 4%	Fosfato Natural Parcialmente acidulado 4%	4	3,3	2,6	0,7	-	-
5	LTA + SS 1%	Super Fosfato Simples 2%	1	13,1	12,2	-	0,9	-
6	LTA + SS 2%	Super Fosfato Simples 1%	2	6,6	5,7	-	0,9	-
7	LTA + SS 4%	Super Fosfato Simples 4%	4	3,3	2,4	-	0,9	-
8	LTA + ST 1%	Super Fosfato Triplo 1%	1	13,1	12,8	-	-	0,3
9	LTA + ST 2%	Super Fosfato Triplo 2%	2	6,6	6,3	-	-	0,3
10	LTA + ST 4%	Super Fosfato Triplo 4%	4	3,3	3,0	-	-	0,3

Fonte: Adaptado de SILVA (2007).

O feijão foi cultivado por SILVA (2007) durante o período de 12/Julho/2006 a Dezembro/2006. Neste trabalho, em sucessão ao feijão, cultivou-se braquiária (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), espécie esta semeada em 30/Maio/2007 com 10 sementes por vaso. Até então os vasos haviam sofrido dessecação natural dentro da estufa e somente foram novamente umedecidos na data da semeadura da braquiária. Para tanto utilizou-se do equivalente a 80% da capacidade de campo de cada solo.

Após a emergência das plântulas de braquiária, que não foi homogênea, houve a necessidade de replantio. Nesta segunda semeadura plantou-se, em 4 de julho de 2008, mais 20 sementes por vaso. Os vasos utilizados possuíam volume total de 3 dm³ para abrigar os 2,5 kg de solo (TFSA - Terra Fina Seca ao Ar) que quase o preenchia totalmente. Os 2 solos foram amostrados da camada de 0 a 20 cm de profundidade (camada arável) da camada arável (até 20 cm de profundidade).

3.3 SOLOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Os solos dos experimentos foram coletados por SILVA (2007) nos municípios paranaenses de Arapoti e de Contenda, os quais correspondem a 2 unidades de mapeamento representativas do Estado do Paraná. Segundo LARACH et al. (1984) os solos coletados são pertencentes às seguintes unidades de mapeamento: *LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO A moderado textura média fase cerrado e cerradão subtropical relevo suave ondulado* (LEa₆) de Arapoti PR e *LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO podzólico A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo ondulado* (LVa₅) de Contenda PR. O LEa₆ foi coletado na Fazenda Mutuca, e o LVa₅ às margens da Rodovia do Xisto (BR 476) entre os municípios de Contenda e Lapa. Segundo SILVA (2007) as coordenadas dos pontos de amostragem para o solo de Arapoti (LEa₆) são de S 24° 16' e W 50° 06', e para o solo de Contenda (LVa₅) são de S 25° 41' e W 49° 33'.

3.3.1 Características químicas e físicas das unidades de solo

As características químicas e físicas dos solos utilizados nos experimentos e que embasaram os tratamentos estão descritas nas TABELAS 4 e 5.

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS DE ARAPOTI-PR (LEa₆) E DE CONTENDA-PR (LVa₅) UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.

Solo	pH CaCl ₂	pH SMP	Al	H + Al	Ca	Mg	K	T	P	V	C
			cmol _c dm ⁻³						mg kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹
LEa ₆	3,9	4,9	1,9	11,3	0,3	0,2	0,12	11,92	1	5,2	23,2
LVa ₅	3,9	4,8	2,5	12,1	1	0,6	0,15	13,85	1,5	12,6	31,7

Fonte: Adaptado de SILVA (2007).

TABELA 5 - GRANULOMETRIA E CAPACIDADE DE CAMPO DOS SOLOS DE ARAPOTI-PR (LEa₆) E DE CONTENDA-PR (LVa₅) UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.

Solo	Areia	Silte	Argila	CC
	%			
LEa ₆	50,9	15,4	32,5	21,6
LVa ₅	18,1	19,3	62,5	29,3

Fonte: Adaptado de SILVA (2007).

3.4 ORIGEM DO LODO DE ESGOTO TRATADO PELO PROCESSO N-VIRO

Para a montagem dos tratamentos utilizou-se um lodo de esgoto aeróbio oriundo da Estação de Tratamento de Esgotos Belém da Companhia de Saneamento do Paraná (ETE-Belém da Sanepar) de Curitiba-PR, o qual foi tratado pelo Processo N-Viro em 2004 (LUCCHESI et al., 2004). Tal material (Lodo Tratado Alcalinamente pelo Processo N-Viro) foi físico-quimicamente caracterizado por SILVA (2007) conforme já descrito na TABELA 1, e é considerado pela Resolução Conama 375/2006 como um lodo Classe A por não apresentar patógenos. O LTA utilizado, segundo LUCCHESI et al. (2004), também apresentou teores de elementos traço ("metais pesados") dentro dos padrões. Na TABELA 6 estão apresentadas as contribuições do LTA com nutrientes para cada um dos tratamentos.

TABELA 6. CONTRIBUIÇÕES DO LTA (LODO DE ESGOTO TRATADO ALCALINAMENTE PELO PROCESSO N-VIRO) PARA CADA UM DOS TRATAMENTOS (TEORES TOTAIS).

Tratamentos		Contribuição do LTA						
		PRNT Eq CaCO ₃	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Ca	Mg
		(kg ha ⁻¹)						
1	LTA 0%	7092	51	37	7	11	2025	1158
2	LTA + FNPA 1%	6725	49	35	7	10	1921	1098
3	LTA + FNPA 2%	3179	23	16	3	5	908	519
4	LTA + FNPA 4%	1406	10	7	1	2	402	230
5	LTA + SS 1%	6611	48	34	7	10	1888	1080
6	LTA + SS 2%	3065	22	16	3	5	875	501
7	LTA + SS 4%	1292	9	7	1	2	369	211
8	LTA + ST 1%	6933	50	36	7	10	1980	1132
9	LTA + ST 2%	3387	25	18	4	5	967	553
10	LTA + ST 4%	1614	12	8	2	2	461	264

3.5 VARIÁVEIS AVALIADAS

Foram avaliadas variáveis relativas ao efeito dos tratamentos nos solos e nas plantas.

3.5.1 Efeito nos solos: características químicas dos solos

As variáveis de solo analisadas foram: pH em CaCl₂, pH em SMP, H⁰+Al³⁺, Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, CTC total, CTC efetiva, V% (saturação da CTC total por cátions básicos), m% (saturação da CTC efetiva por Al), P extraível por Mehlich 1, e C orgânico. Ao

término dos experimentos, em março de 2008, os solos contidos nos vasos (unidades experimentais) foram desmontados, secados em estufa de circulação forçada à temperatura de 65 °C por 48 h, peneirados (2 mm), e então armazenados. Amostras de solo, de cada uma das unidades experimentais (vasos) foram analisadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da UFPR. Tais análises foram realizadas segundo a metodologia de rotina do laboratório, adaptada de EMBRAPA (1997) e de PAVAN et al. (1992).

O pH (acidez ativa) foi analisado por potenciometria em CaCl_2 a 0,01 M numa relação solo: solução 1:2,5. A acidez potencial ($\text{H}^0 + \text{Al}^{3+}$) foi obtida por tabela (PAVAN et al., 1992) a partir do pH medido em solução SMP adicionada à anteriormente citada.

O alumínio (Al^{3+}), o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) trocáveis foram extraídos de 10 cm³ de TFSE por meio da adição de 100 cm³ do extrator KCl 1M (relação solo:extrator 1:10), agitou-se por 10 minutos e deixou-se em repouso por 24 horas. Após isso, para a determinação do Al acrescentou-se 3 gotas do indicador azul de Bromotimol e então procedeu-se a titulação da solução com NaOH 0,02 M. Para a quantificação dos teores de Ca e de Mg tomou-se alíquota de 0,1 mL à qual acrescentou-se 0,5 mL de solução de cloreto de estrôncio (SrCl_2) completando-se o volume com 4,4 mL de água deionizada (diluição de 1:50), conforme procedimento proposto por HILDEBRAND et al. (1976) para leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. Para tanto, procedeu-se a leitura em aparelho Shimadzu AA-6200.

O fósforo (P) e o potássio (K^+) foram extraídos do solo pelo extrator Mehlich 1 (H_2SO_4 0,0125 M + HCl 0,05M) tomando-se 10 cm³ de TFSE e acrescentando-se 100 mL da solução extratora de duplo ácido (relação solo:extrator 1:10), que foi agitada por 5 minutos e deixada em repouso por uma noite. Para a determinação de P no extrato tomou-se alíquotas de 5 mL da solução à qual adicionou-se 10 mL de molibdato de amônio ($(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7 \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e uma pequena porção de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), aguardou-se 30 minutos e então se procedeu a leitura no fotocolorímetro. Para o K^+ tomou-se 20 mL do mesmo extrato em repouso e procede-se a leitura em fotômetro de chama da marca Tecnal.

O carbono orgânico (C) foi determinado por oxidação a frio através do dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) na presença de ácido sulfúrico. Neste método os resultados são obtidos por tabela relacionando-se a colorimetria em fotocolorímetro à teores de C determinados pelo método de Walkley & Black. A determinação da CTC total, da CTC efetiva, da V% e da m% se deu por cálculo.

3.5.2 Efeito nas plantas: matéria seca e teor foliar de fósforo

Para se avaliar o efeito dos tratamentos na produção da *Brachiaria brizantha* foram realizados 5 cortes nas plantas à altura de 10 cm e mais 1 corte rente ao solo, o que totalizou 6 cortes durante o período experimental. Após cada corte, o material verde era lavado em água corrente e em seguida enxaguado em água deionizada e então acondicionado em cartuchos de papel Kraft fino, para em seguida serem colocados em estufa de circulação forçada (temperatura de 65 °C) para secagem por 48 horas. Assumiu-se que assim o material teria atingido peso constante. O material já seco, após resfriamento, foi pesado em balança de precisão de 0,01 g e armazenado. Para tanto seguiu-se metodologia adaptada de NOGUEIRA (2005).

Estimou-se a disponibilidade de P para as plantas de *Brachiaria brizantha* por meio da análise de seu tecido vegetal do corte de dezembro de 2007 (4o. corte), cujos teores foram assumidos como sendo o mesmo para todos os demais cortes. Para tanto, calcinou-se o tecido vegetal cujas cinzas foram re-calcinadas em ácido clorídrico (HCl) a 3M conforme recomendações de MARTINS et al. (2007). Para a quantificação do P do extrato vegetal utilizou-se da metodologia adaptada de MALAVOLTA et al. (1989) e de SILVA (1999), que preconiza o uso de molibdato-vanadato de amônio o qual, ao reagir com o P produz uma cor amarela, método este também conhecido como o do P amarelo (MARTINS et al. 2007).

Para a digestão as amostras dos vegetais foram recolocadas na estufa a 65°C por mais 24 h. Após isso pesou-se 1 g de matéria seca que foi moída e colocada em cadinhos de porcelana para a calcinação. Os cadinhos foram colocados em mufla a 500°C por 3 horas. Após o resfriamento adicionou-se 3 gotas de HCl 3M e retornou-se à mufla por mais 3 horas a 500 °C para haver a calcinação completa do material. Em seguida, após o resfriamento dos cadinhos, cada amostra recebeu mais 10 mL de HCl 3 M. Na sequência os cadinhos foram colocados em placa aquecedora dentro da capela por 5 minutos para a solubilização das cinzas. Aguardou-se o esfriamento dos cadinhos e filtrou-se a solução em papel filtro Watmann 42 dentro diretamente em balões volumétricos de 100 mL. Para a digestão se processar completamente, ao final da filtração, os cadinhos eram novamente preenchidos com água deionizada, levados novamente para a placa aquecedora e a solução filtrada. Esta operação foi repetida várias vezes. Ou seja, procedeu-se sucessivas lavagens, para passar quantitativamente o solubilizado para os balões volumétricos. Assim, somente quando não

havia mais material a ser lavado e filtrado, os balões volumétricos de 10 mL eram completados com água deionizada, para então as soluções serem quantificadas para P no espectrofotômetro (colorimetria).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Aplicou-se aos dados ANOVA após o que se comparou as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5%. Para tanto se empregou o programa “The SAS System for Windows”; e o programa Assistat 7.5 beta, sendo que ambos forneceram resultados equivalentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados por experimento: o experimento com o solo de Arapoti PR e o com o solo de Contenda. Para cada um deles os resultados serão apresentados e discutidos abaixo primeiramente para os efeitos sobre as propriedades químicas dos solos, e em seguida sobre as respostas da braquiária.

4.1 EXPERIMENTO COM O SOLO DE ARAPOTI

4.1.1 Efeito sobre as características químicas do solo

As médias dos resultados analíticos relativos à fertilidade do solo de Arapoti PR estão apresentadas na TABELA 7. Para todas as variáveis obteve-se diferenças significativas. Tais dados serão discutidos separadamente nas seções seguintes.

Note-se, no entanto, que ao se comparar as características químicas deste solo, de antes da aplicação dos tratamentos (TABELA 4), com as médias resumidamente apresentadas na TABELA 7, observa-se que todos os tratamentos alteraram positivamente as propriedades químicas avaliadas e portanto melhoraram nitidamente a condição original da sua fertilidade.

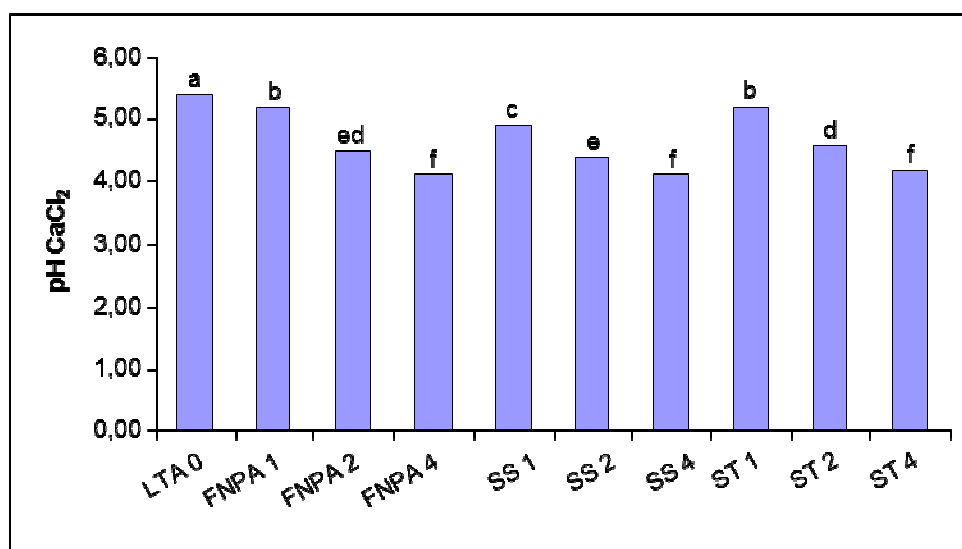
4.1.1.1 Efeitos sobre o pH em CaCl_2

Ao final do experimento todos os pHs alcançaram valores maiores que o pH original de 3,9. Conforme pode-se observar no GRAFICO 1, o valor mais elevado foi o obtido para o tratamento 1 (LTA 0%) e os mais baixos para os tratamentos que receberam a adição de 4% de P_2O_5 . Os demais tratamentos, com a adição 1 e 2% de P_2O_5 , geraram intermediários, ou seja, pHs inversamente proporcionais ao teor adicionado de P_2O_5 . Ou seja, quanto mais puro era o LTA (Lodo Tratado Alcalinamente pelo Processo N-Viro) maior foi o pH gerado no solo. Isto possivelmente em função da diminuição do PRNT a medida em que se diluía o LTA pela adição de fosfatos.

TABELA 7. MÉDIAS DE VARIÁVEIS QUÍMICAS INDICADORAS DA FERTILIDADE DO SOLO DE ARAPOTI AVALIADAS AO FINAL DO EXPERIMENTO COMPARADAS POR TUKEY A 5%.

Tratamentos		pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	P _{SOLO}	V	m
		CaCl ₂	cmol _c /dm ³		mg/dm ³	%	
1	LTA 0%	5,4 a	0,0 c	1,8 a	1,6 d	45,8 a	0,0 e
2	FNPA 1%	5,2 b	0,0 c	1,7 a	4,9 c	43,2 a	0,0 e
3	FNPA 2%	4,5 ed	0,5 b	1,1 abc	4,4 c	25,7 bcd	21,8 cde
4	FNPA 4%	4,1 f	1,4 a	1,0 bc	4,5 c	18,6 d	49,5 ab
5	SS 1%	4,9 c	0,2 c	1,4 ab	9,0 a	33,0 abc	6,9 de
6	SS 2%	4,4 e	0,6 b	0,9 bc	7,0 b	17,8 d	31,0 bc
7	SS 4%	4,1 f	1,4 a	0,8 bc	7,9 ab	14,3 d	58,3 a
8	ST 1%	5,2 b	0,0 c	1,5 ab	1,8 d	37,4 ab	0,0 e
9	ST 2%	4,6 d	0,5 b	1,0 bc	1,7 d	22,5 cd	24,2 cd
10	ST 4%	4,2 f	1,2 a	0,7 c	1,6 d	13,4 d	53,7 ab

FIGURA 1: pH em CaCl₂ DO SOLO DE ARAPOTI AVALIADO AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADAS POR TUKEY A 5%.

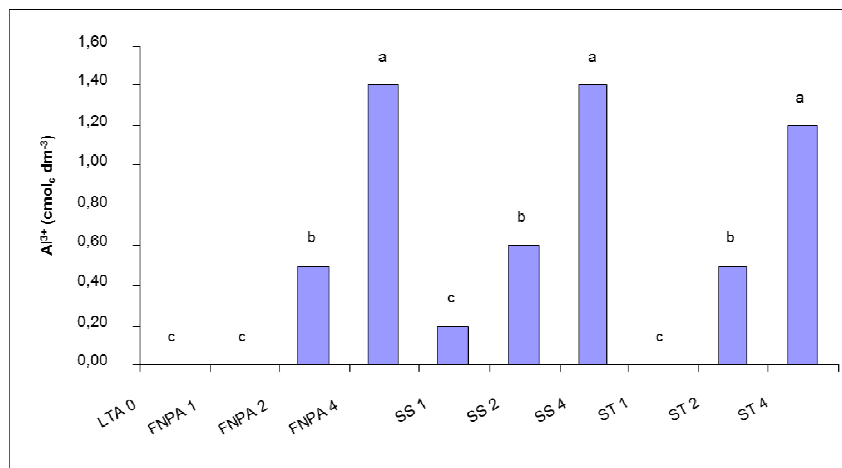


4.1.1.2 Efeitos sobre o alumínio trocável

Antes da implementação dos tratamentos o teor de Al³⁺ deste solo girava em torno de 1,9 cmol_c dm⁻³. No FIGURA 2 demonstra-se que alguns tratamentos eliminaram totalmente este fator: tratamentos 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%) e 8 (LTA + ST 1%). Os tratamentos que menos afetaram o Al trocável foram os que receberam as maiores

concentrações de P_2O_5 e portanto, que diluíram o PRNT das misturas. Os resultados para Al^{3+} estão consistentes com os obtidos para pH em $CaCl_2$, que quando atinge em torno de 5,0 gera sua precipitação.

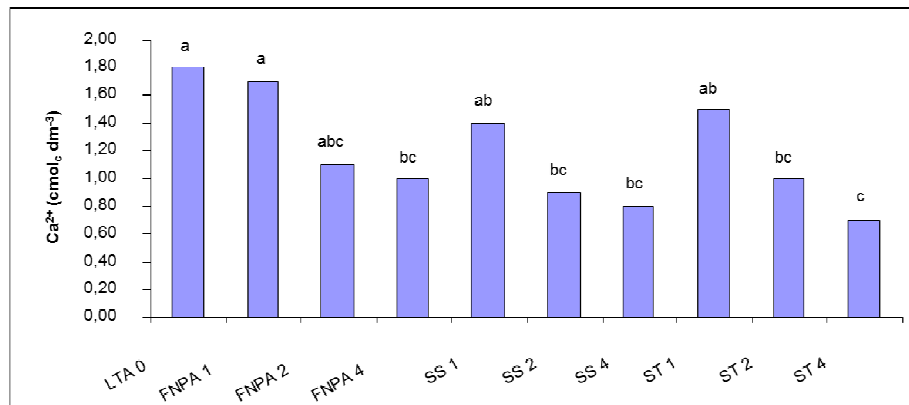
FIGURA 2: TEORES TROCÁVEIS DE ALUMÍNIO DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDOS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.1.1.3 Efeitos sobre o cálcio trocável

Todos os tratamentos promoveram aumentos no teor de Ca^{2+} trocável originalmente encontrado no solo ($0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os valores obtidos variaram de 0,7 a $1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os tratamentos que receberam as menores concentrações de P_2O_5 , ou seja, aqueles que foram menos diluídos com a adição dos fosfatos, foram os que geraram os maiores teores de Ca trocável, conforme pode-se observar no FIGURA 3, tratamentos: 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%); 5 (LTA + SS 1%) e 8 (LTA + ST 1%). Esperava-se observar um aumento no teor de Ca trocável maior para os tratamentos 5 (LTA + SS 1%), 6 (LTA + SS 2%), e 7 (LTA + SS 4%), aqueles em que se utilizou Superfosfato Simples comparados aos demais fosfatos, em função da presença de gesso. No entanto, isto não foi observado.

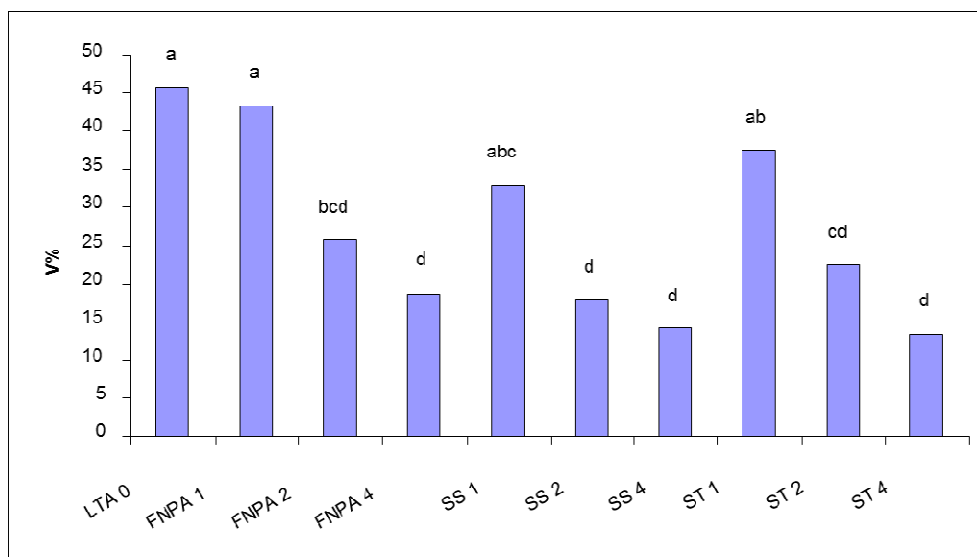
FIGURA 3: CÁLCIO TROCÁVEL DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.1.1.4 Efeitos sobre a saturação da CTC_{total} por cátions básicos trocáveis (V%)

Conforme esperado, o comportamento do índice V% frente aos tratamentos foi dependente do aumento do teor de Ca²⁺ trocável no solo (FIGURAS 3 e 4). Ou seja, a medida em que se observou aumento no teor de Ca²⁺ trocável no solo, também observou-se incrementos na V%. O aumento ocorreu para todos os tratamentos (FIGURA 4). O V% original do solo de Arapoti era de 5,2%, o qual foi elevado para no mínimo 13 %, no caso, para o Tratamento 10 (LTA + ST 4%). Novamente, para esta variável, destacaram-se os seguintes tratamentos: 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%); 5 (LTA + SS 1%) e 8 (LTA + ST 1%); justamente aqueles mesmos em que menos se diluiu o LTA (Lodo de Esgoto Tratado Alcalinamente pelo Processo N-Viro). Por outro lado, observa-se que os piores tratamentos são aqueles que, obviamente, receberam as maiores adições das fontes de fosfato. Cabe ressaltar que a solubilidade do Ca ligado à fosfatos é menor que a do Ca ligado à hidróxido, sulfato e a certos ânions orgânicos, os quais, segundo SALVADOR (2006) estão presentes no LTA, o que pode explicar os efeitos observados nesta variável (V%) e nas anteriormente discutidas (pH em CaCl₂ e Ca²⁺).

FIGURA 4: SATURAÇÃO DE BASES DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.

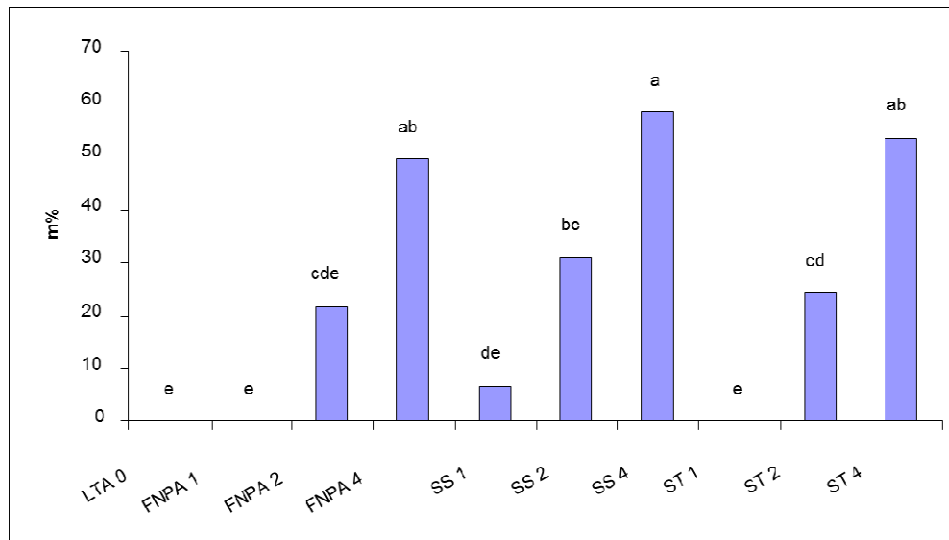


4.1.1.5 Efeitos sobre a saturação da CTC_{efetiva} por alumínio trocável (m%)

O corolário do que se disse anteriormente está expresso no FIGURA 5 para a variável m%. Ou seja, conforme esperado eliminou-se o Al^{3+} do complexo sortivo do solo, originalmente presente nas condições originais de pH, naturais de acidez ativa (CTC_{efetiva}). Assim sendo, no início do experimento o m% apresentava-se com 75,40% (TABELA 4), indicando um solo fortemente álico e com um teor extremamente baixo de bases trocáveis (5,2%), e ao final do experimento este chegou a mesmo ser eliminado nos tratamentos: 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%); e 8 (LTA + ST 1%). Os tratamentos que menos promoveram diminuição do m% foram aqueles cuja adição de P_2O_5 foi maior: tratamentos: 4 (LTA + FNPA 4%), 7 (LTA + SS 4%) e 10 (LTA + ST 4%).

Observa-se no FIGURA 5 que a LTA 0% e os tratamentos FNPA e ST 1% de P_2O_5 proporcionaram uma redução total na saturação por Al^{3+} , apresentando na análise final um m% igual a 0 (zero). Estes tratamentos, porém, não diferiram estatisticamente dos tratamentos SS 1% e FNPA 2%. O pior resultado foi obtido pelo tratamento com SS 4% que apresentou um valor para de 58,30 pra o m%, confirmando a tendência observada de uma forte correlação com o Ca^{2+} indicado pelo R^2 : 0,82, obtido na correlação entre estes dois fatores.

FIGURA 5: SATURAÇÕES DE ALUMÍNIO (m%) DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.1.1.6 Efeitos dos tratamentos sobre fósforo extraível do solo

Todos os tratamentos (FIGURA 6) tenderam a gerar teores de P extraíveis do solo por Mehlich 1 (extrator de duplo ácido) maiores que o originalmente obtido antes da instalação do experimento de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (TABELA 4). No FIGURA 6 observa-se que os maiores teores de P_2O_5 foram obtidos para os tratamentos 5 (LTA + SS 4%), 6 (LTA + SS 2%) e 7 (LTA + SS 4%). Ou seja, maiores teores de P extraível foram obtidos para os tratamentos em que o LTA (Lodo de Esgoto Alcalinamente tratado pelo Processo N-Viro) foi acrescido da fonte Superfosfato Simples (SS).

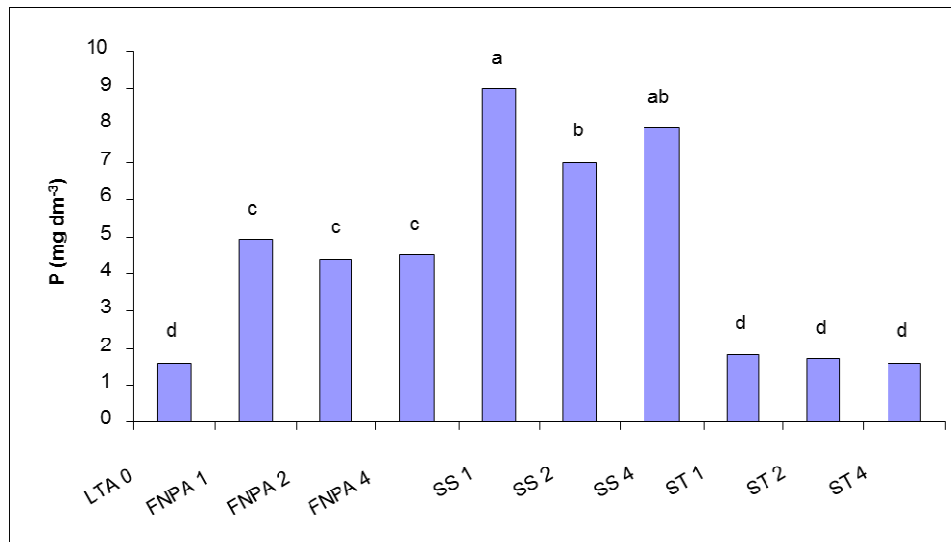
Por outro lado, os Tratamentos que geraram o menor teor de P extraível do solo foram aqueles em que o LTA foi misturado ao Superfosfato Triplo: 8 (LTA + ST 1%), 9 (LTA + ST 2%) e 10 (LTA + ST 4%); ao lado do Tratamento 1 (LTA 0% de P_2O_5) que não sofreu enriquecimento. Isto em função, primeiramente de o Tratamento 1 não ter sofrido qualquer adição de fosfatados, gerando para o solo teores adicionais de P unicamente advindos do LTA (vide TABELA 6). Em segundo lugar, é possível que, em função da maior solubilidade em água do Superfosfato Triplo, este tenha vindo precipitar-se em compostos menos solúveis tanto em meio mais ácido (Tratamento 10: LTA + ST 4%) quanto como no meio mais alcalino (Tratamento 8: LTA + ST 1%). Tal explicação encontra embasamento em RAIJ (2004).

Com relação aos tratamentos em que o LTA foi misturado à Fosfato Natural Parcialmente Acidulado (FNPA) observa-se no FIGURA 6 terem os valores de P extraível alcançado níveis intermediários de extração. Isto possivelmente porque os FNPA, ao serem a rocha fosfática atacada de forma incompleta por ácido sulfúrico, são "quase" superfosfatos simples (rocha fosfatada atacada por completo com ácido sulfúrico), e portanto possuem parte de seu P total na forma de apatita insolúvel ou de fosfatos solubilizados acidamente.

Assim sendo, considerando-se que para todos os tratamentos (Tratamentos 2 a 10) em que se enriqueceu o LTA com fosfatos, independentemente da fonte (FNPA, SS e ST), aplicou-se ao solo o equivalente a 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 (vide METODOLOGIA), conclui-se que extraiu-se mais P daqueles tratamentos cuja maior porção melhor solubilizou-se frente ao Mehlich 1, no caso o SS (Superfosfato Simples).

Complementarmente a isso, deve-se ressaltar o fato de que a dose de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 , aplicada ao solo em todos os tratamentos, adveio da mistura e diluição de uma mesma massa de cada uma das fontes fosfatadas utilizadas (FNPA, SS e ST) em massas crescentes de LTA (Vide TABELA 3). Assim sendo, os efeitos dos tratamentos observados quanto ao teor extraível de P dos vasos, advieram não apenas das propriedades da mistura sobre o P antes de sua aplicação ao solo, mas também dos efeitos que as propriedades do solo, afetadas pelas misturas, tiveram sobre o comportamento deste nutriente frente ao extrator de duplo ácido Mehlich 1.

FIGURA 6: FÓSFORO EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.1.2 Efeitos sobre as plantas de braquiária no solo

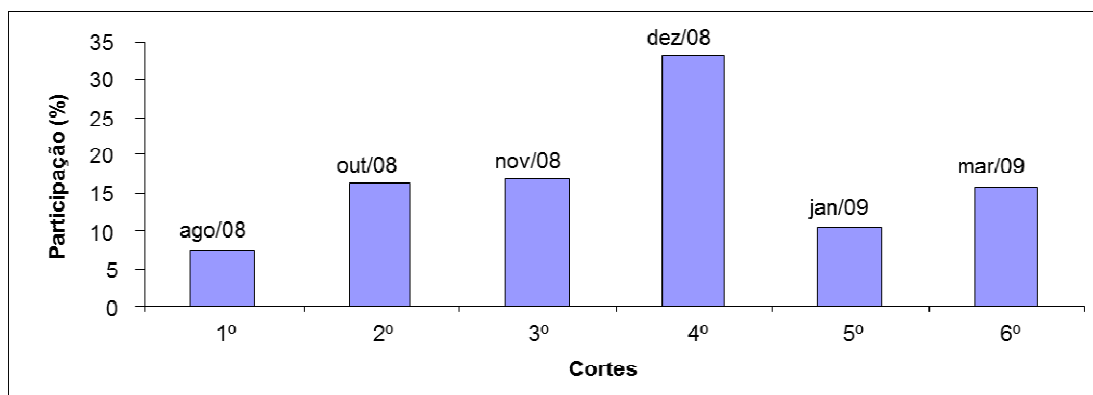
4.1.2.1 Efeitos sobre a produção de matéria seca

Os resultados de produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* encontram-se na TABELA 8 detalhados para cada um dos 6 cortes procedidos no período de agosto/08 a março/09. Tais dados foram resumidos em distribuição percentual da participação de cada corte no FIGURA 7. Nestes (TABELA 8 e FIGURA 7) observa-se que a produção média de matéria seca cresceu do Corte 1 até o Corte 4, decrescendo nos subseqüentes (5 e 6). Tal fato pode ser explicado pelo maior perfilhamento e desenvolvimento vegetativo das plantas, que possivelmente foi suportado pela disponibilização de nutrientes até o 4º corte (Dezembro 2008), quando a partir de então, possivelmente em função de o 4º corte ter sido mais rente ao solo, e também da exportação dos nutrientes disponibilizados nos vasos pelos cortes anteriores, a produção passou a decrescer abruptamente.

TABELA 8. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM VASO OBTIDA DE 6 CORTES DO SOLO DE ARAPOTI.

Tratamentos		Cortes													
		1		2		3		4		5		6		Total	
		ago/08		out/08		nov/08		dez/08		jan/09		mar/09			
		g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
1	LTA 0%	0,77	4	2,84	13	4,06	19	7,04	33	3,18	15	3,70	17	21,59	100
2	LTA + FNPA 1%	2,13	9	4,32	17	3,53	14	8,01	32	2,65	11	4,32	17	24,94	100
3	LTA + FNPA 2%	3,09	11	5,70	19	3,97	13	9,55	32	2,58	9	4,51	15	29,38	100
4	LTA + FNPA 4%	1,15	5	4,64	19	4,35	18	8,55	34	2,36	10	3,74	15	24,79	100
5	LTA + SS 1%	2,35	10	3,54	15	3,40	15	7,80	33	2,09	9	4,12	18	23,28	100
6	LTA + SS 2%	3,56	13	4,27	16	4,09	15	8,42	31	2,25	8	4,30	16	26,88	100
7	LTA + SS 4%	0,95	4	4,17	18	5,21	22	7,40	31	2,46	10	3,63	15	23,82	100
8	LTA + ST 1%	1,81	8	3,89	18	3,25	15	7,33	33	2,38	11	3,57	16	22,23	100
9	LTA + ST 2%	3,03	12	4,43	17	4,01	16	8,75	34	2,15	8	3,48	13	25,84	100
10	LTA + ST 4%	0,18	1	1,95	10	4,40	22	7,11	36	2,87	15	3,11	16	19,61	100
Média		1,90	8	3,97	16	4,03	17	7,99	33	2,49	10	3,85	16	24,24	100

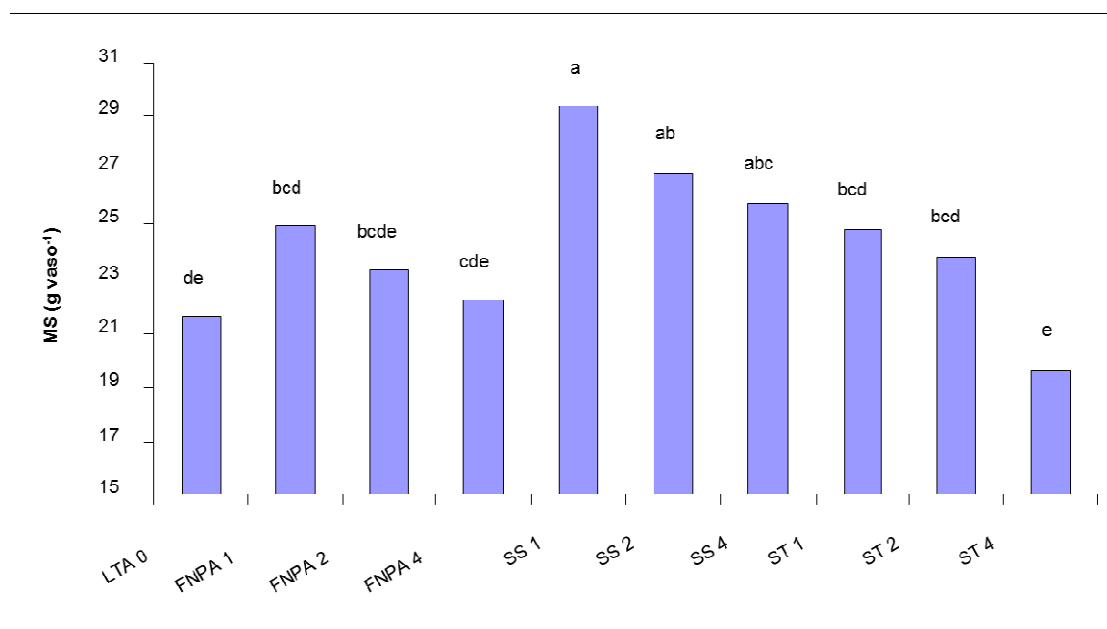
FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CONTRIBUIÇÃO DOS 6 CORTES NA PRODUÇÃO TOTAL DE MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA PRODUZIDA EM VASO NO SOLO DE ARAPOTI AO FINAL DO EXPERIMENTO.



A comparação de médias da somatória dos 6 cortes por tratamento está apresentada no FIGURA 8. Note-se que as melhores respostas da braquiária se deram para os tratamentos em que o LTA foi enriquecido superfosfato simples. Destes a maior produção foi a obtida do Tratamento 5 (LTA + SS 1%). Os tratamentos com FNPA (Tratamentos 2, 3 e 4) e com ST (Tratamentos 8, 9 e 10) se equivaleram. A menor produção de braquiária tendeu a ser a obtida com o uso de LTA sem a adição de fosfato. Disto depreende-se que para o solo de Arapoti é mais importante se adubar com P frente a uma pequena correção do que apenas se corrigir a acidez do solo. Deve-se ressaltar, entretanto, que em todos os tratamentos, à exceção do Tratamento 1 (LTA exclusivo), aplicou-se a dose de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Note-se haver uma tendência de aumento da produção de braquiária para aqueles tratamentos nos quais se a dose de LTA advinda da mistura aumentou (vide TABELA 3 e FIGURA 8). Portanto, pode-se concluir que, para o solo de Arapoti, as melhores concentrações adicionadas de P_2O_5 são 1% e 2%. Considerando-se que o valor de mercado do P é muito maior que o do LTA, conclui-se que a mistura de 1% pode ser uma boa estratégia para se atrair mais agricultores a se utilizarem deste produto.

FIGURA 8 - MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.

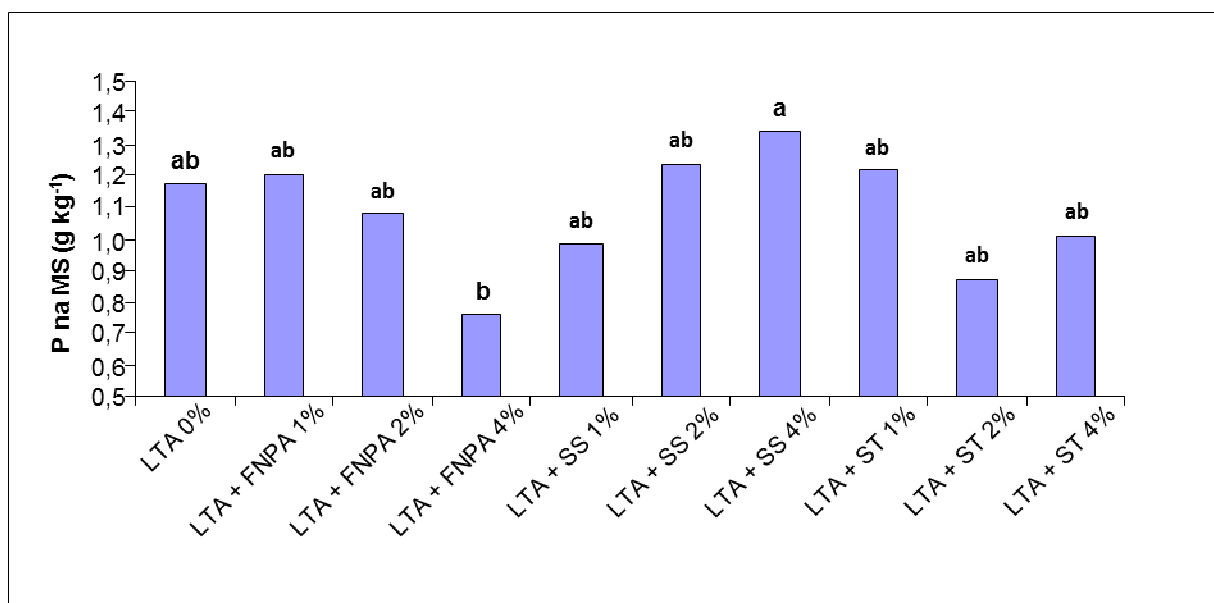


4.1.2.2 Efeitos sobre a disponibilidade de fósforo

Para fins do presente trabalho, considerou-se como disponível o P absorvido e, portanto, presente na matéria seca de braquiária produzida. Os teores de P da matéria seca obtidos do quarto corte da braquiária, efetuado em Dezembro de 2008, poderão ser observados na FIGURA 9. Lembrando-se que somente se analisou o teor de P deste corte, o qual foi assumido como sendo o mesmo para todos os demais, em razão de as plantas terem atingido o pleno desenvolvimento vegetativo neste corte. Note-se ter havido tendência de diminuição do teor de P na matéria seca nos tratamentos com FNPA (Tratamentos 2, 3 e 4) e

com ST (Tratamentos 8, 9 e 10) a medida em que adição de P_2O_5 aumentou. Por outro lado observou-se o inverso nos tratamentos com SS (Tratamentos 5, 6 e 7).

FIGURA 9 - TEOR DE FÓSFORO DA MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA PRODUZIDA NO SOLO DE ARAPOTI OBTIDO DO QUARTO CORTE (DEZEMBRO/ 2008) DO EXPERIMENTO.



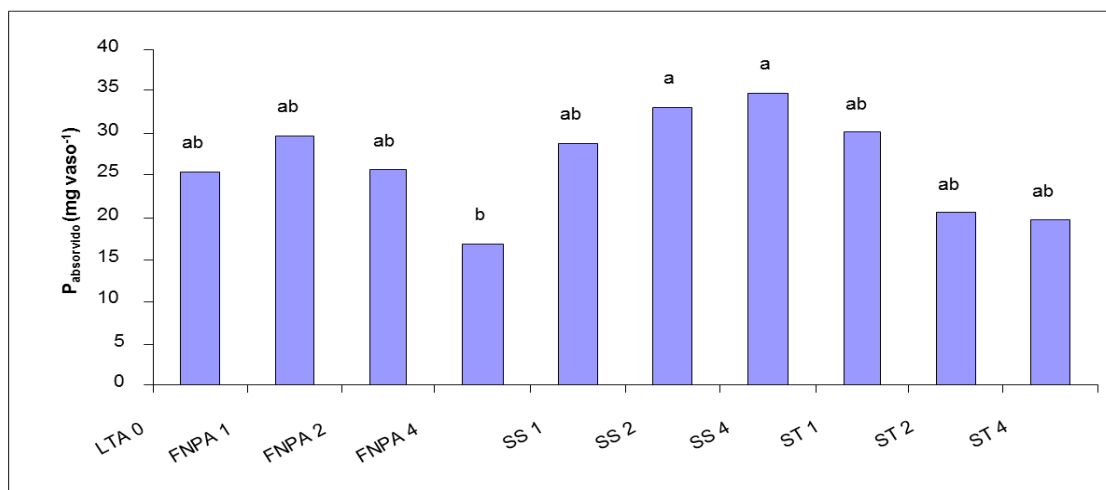
As massas de P acumulado na matéria seca de braquiária por corte para o solo de Arapoti estão apresentadas na TABELA 9. Tais resultados foram integrados na forma de somatória expressa no FIGURA 10.

No FIGURA 10 observa-se que tanto os tratamentos que receberam a adição de FNPA (Fosfato Natural Parcialmente Acidulado) (Tratamentos 2- LTA + FNPA 1%, 3 LTA + FNPA 2% e 4 LTA + FNPA 4%) quanto aqueles que receberam a adição de ST (Superfosfato Triplo) (Tratamentos 8 - LTA + ST 1%, 9 - LTA + ST 2%, e 10 - LTA + ST 4%,) tenderam a apresentar acúmulo decrescente de P na matéria seca de braquiária.

TABELA 9. FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA PRODUZIDA EM 6 CORTES NO SOLO DE ARAPOTI.

Tratamentos		Cortes						
		1	2	3	4	5	6	Total
		ago/08	out/08	nov/08	dez/08	jan/09	mar/09	
		g	g	g	g	g	g	g
1	LTA 0%	0,90	3,33	4,76	8,26	3,73	4,34	25,33
2	LTA + FNPA 1%	2,54	5,17	4,22	9,58	3,17	5,17	29,84
3	LTA + FNPA 2%	3,34	6,17	4,29	10,34	2,79	4,88	31,81
4	LTA + FNPA 4%	0,87	3,52	3,30	6,48	1,79	2,83	18,79
5	LTA + SS 1%	2,31	3,48	3,34	7,67	2,05	4,05	22,90
6	LTA + SS 2%	4,40	5,27	5,05	10,39	2,78	5,31	33,20
7	LTA + SS 4%	1,27	5,59	6,99	9,92	3,30	4,87	31,94
8	LTA + ST 1%	2,20	4,74	3,96	8,93	2,89	4,35	27,07
9	LTA + ST 2%	2,64	3,85	3,49	7,61	1,87	3,02	22,48
10	LTA + ST 4%	0,18	1,95	4,40	7,11	2,87	3,11	19,63

FIGURA 10 - FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE B. BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE ARAPOTI OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



Pode-se perceber que o P acumulado nos tratamentos em que se enriqueceu o LTA (Lodo de Esgoto Tratado Alcalinamente com o Processo N-Viro) com SS (Superfosfato Simples) (Tratamentos 5 - LTA + SS 1%, 6- LTA + SS 2% e 7- LTA + SS 4%) aumentou com o aumento da concentração adicionada de P_2O_5 na mistura.

Curiosamente, o tratamento que recebeu apenas LTA sem adição de P também acumulou uma significativa quantidade de P (Tratamento 1 - LTA 0%). Conclui-se, com base nestes resultados, que, apesar do Tratamento 7 ter-se apresentado com os maiores valores acumulados de P, que o tratamento mais adequado para se efetuar a mistura aparentemente é o com Superfosfato Simples a 1 ou 2% de adição de P_2O_5 .

4.2 EXPERIMENTO COM O SOLO DE CONTENDA

4.2.1 Efeitos sobre as características químicas do solo

As médias dos resultados analíticos relativos à fertilidade do solo de Contenda PR estão apresentadas na TABELA 10. Para todas as variáveis obteve-se diferenças significativas. Tais dados serão discutidos separadamente nas seções seguintes.

Note-se, no entanto, que ao se comparar as características químicas deste solo, de antes da aplicação dos tratamentos (TABELA 4), com as médias resumidamente apresentadas na TABELA 10, observa-se que todos os tratamentos alteraram positivamente as propriedades químicas avaliadas e, portanto melhoraram nitidamente a condição original da sua fertilidade.

TABELA 10: MÉDIAS DE VARIÁVEIS QUÍMICAS INDICADORAS DA FERTILIDADE DO SOLO DE CONTENDA AVALIADAS AO FINAL DO EXPERIMENTO COMPARADAS POR TUKEY A 5%.

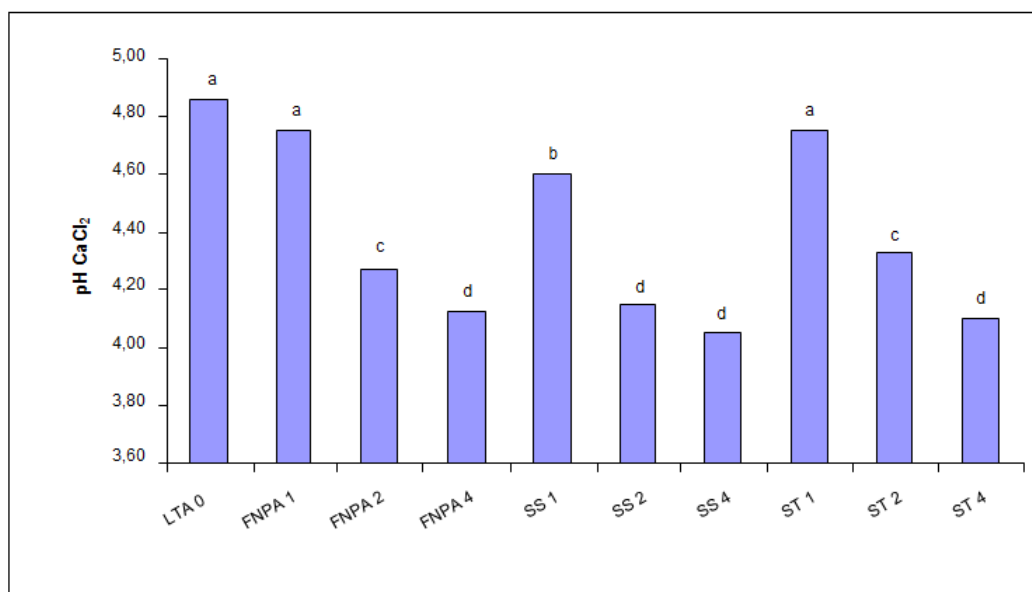
Tratamentos		pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	P _{solo}	V	m
		CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³	%	
1	LTA 0%	4,86 a	0,22 f	2,25 a	2,08 c	36,58 a	5,37 f
2	FNPA 1%	4,75 a	0,25 ef	2,34 a	4,33 b	35,43 ab	6,11 f
3	FNPA 2%	4,28 c	1,35 cd	1,34 bc	4,28 b	15,81 de	41,31 de
4	FNPA 4%	4,13 d	1,93 ab	0,97 c	3,88 bc	9,71 f	59,71 ab
5	SS 1%	4,60 b	0,58 e	2,06 a	6,98 a	29,33 c	15,37 f
6	SS 2%	4,15 d	1,60 bd	1,35 bc	8,20 a	15,27 de	47,71 cd
7	SS 4%	4,05 d	2,18 a	0,96 c	7,43 a	8,86 f	64,83 a
8	ST 1%	4,75 a	0,45 ef	2,04 a	2,60 bc	30,99bc	11,70 f
9	ST 2%	4,33 c	1,20 d	1,50 b	2,43 bc	17,99 d	35,59 e
10	ST 4%	4,10 d	1,93 ab	1,17 bc	2,20 c	12,75 ef	53,32 bc

4.2.1.1 Efeitos sobre o pH em CaCl₂

Ao final do experimento todos os pHs alcançaram valores maiores que o pH original de 3,9. Conforme pode-se observar no GRAFICO 11, o valor mais elevado foi o obtido para o tratamento 1 (LTA 0%) e os mais baixos para os tratamentos que receberam a adição de 4% de P₂O₅. Os demais tratamentos, com a adição 1 e 2% de P₂O₅, tenderam a

gerar valores intermediários, ou seja, pHs inversamente proporcionais ao teor adicionado de P_2O_5 . Assim, quanto mais puro era o LTA (Lodo Tratado Alcalinamente pelo Processo N-Viro) maior foi o pH gerado no solo. Isto possivelmente em função da diminuição do PRNT na medida em que se diluía o LTA pela adição de fosfatos. Esta característica se deu de forma mais acentuada que no solo de Arapoti.

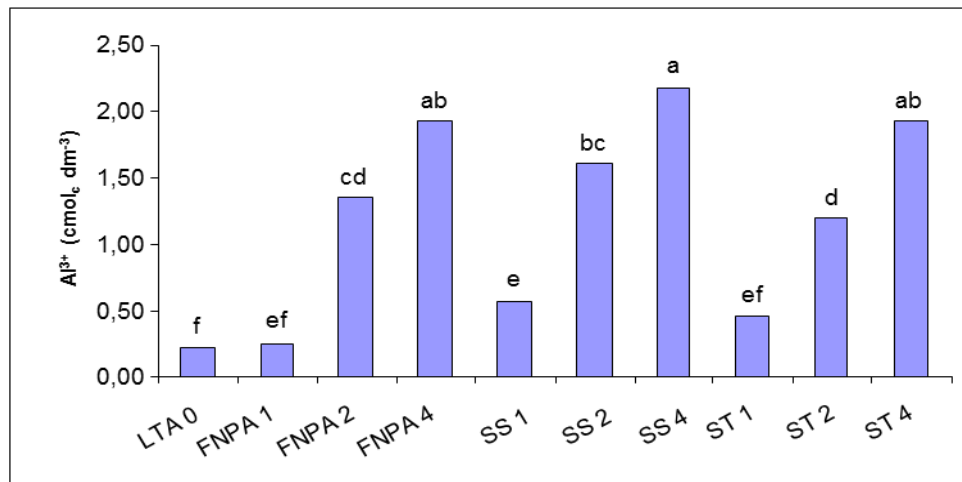
FIGURA 11: pH em $CaCl_2$ DO SOLO DE CONTENDA AVALIADO AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADAS POR TUKEY A 5%.



4.2.1.2 Efeitos sobre o alumínio trocável

Antes da implementação dos tratamentos o teor de Al^{3+} deste solo girava em torno de $2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No FIGURA 12 demonstra-se que alguns tratamentos reduziram significativamente este fator, mas ao contrário do outro solo não conseguiram eliminar totalmente o Al trocável: tratamentos 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%), 5 (LTA + SS 1%) e 8 (LTA + ST 1%). Os tratamentos que menos afetaram o Al trocável foram os que receberam as maiores concentrações de P_2O_5 e, portanto, que diluíram o PRNT das misturas. Os resultados para Al^{3+} estão consistentes com os obtidos para pH em $CaCl_2$, que quando atinge em torno de 5,0 gera sua precipitação.

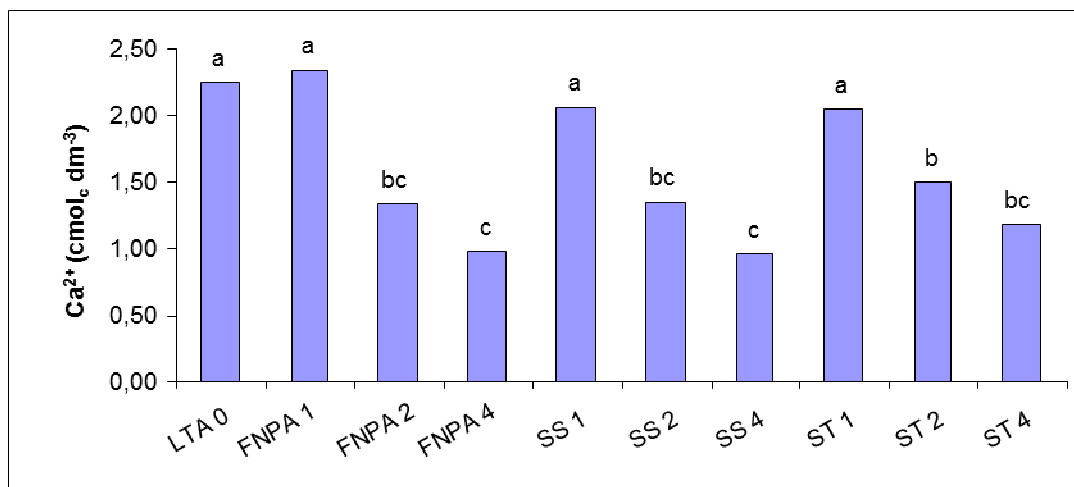
FIGURA 12: TEORES TROCÁVEIS DE ALUMÍNIO DO SOLO DE CONTENDA OBTIDOS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.2.1.3 Efeitos sobre o cálcio trocável

Todos os tratamentos promoveram aumentos no teor de Ca^{2+} trocável originalmente encontrado no solo ($1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os valores obtidos variaram de 0,97 a $2,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os tratamentos que receberam as menores concentrações de P_2O_5 , ou seja, aqueles que foram menos diluídos com a adição dos fosfatos, foram os que geraram os maiores teores de Ca trocável, conforme pode-se observar no FIGURA 13, tratamentos: 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%); 5 (LTA + SS 1%) e 8 (LTA + ST 1%). Para este solo, ao contrário do solo de Arapoti, observou-se um aumento no teor de Ca trocável para os tratamentos 5 (LTA + SS 1%), 6 (LTA + SS 2%), e 7 (LTA + SS 4%), os quais se utilizaram de Superfosfato Simples semelhantes aos demais tratamentos, mas não maiores.

FIGURA 13: CÁLCIO TROCÁVEL DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.2.1.4 Efeitos sobre a saturação da CTC_{total} por cátions básicos trocáveis (V%)

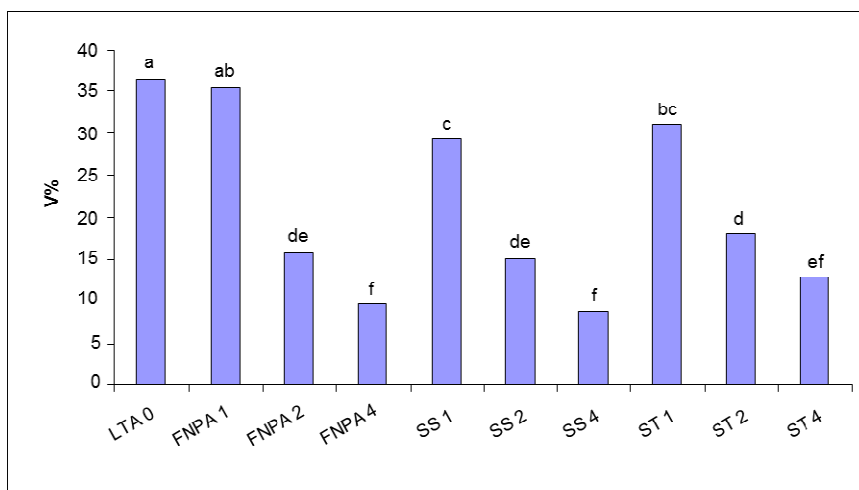
Conforme esperado, o comportamento do índice V% frente aos tratamentos foi dependente do aumento do teor de Ca²⁺ trocável no solo (FIGURAS 12 e 13). Ou seja, a medida em que se observou aumento no teor de Ca²⁺ trocável no solo, também observou-se incrementos na V%. Neste solo de Contenda, provavelmente em função de seu maior poder tampão ácido (maior teor de argila e de matéria orgânica), o V% não ocorreu para todos os tratamentos (FIGURA 14). O V% original do solo de Contenda era de 12,6%, o qual manteve-se para alguns tratamentos quase inalterado nos tratamentos 4, 7 e 10. Novamente, para esta variável, destacaram-se os seguintes tratamentos: 1 (LTA 0%), 2 (LTA + FNPA 1%); 5 (LTA + SS 1%) e 8 (LTA + ST 1%); justamente aqueles mesmos em que menos se diluiu o LTA (Lodo de Esgoto Tratado Alcalinamente pelo Processo N-Viro). Da mesma forma que para o solo anterior observa-se que os piores tratamentos são aqueles que, obviamente, receberam as maiores adições das fontes de fosfato.

4.2.1.5 Efeitos sobre a saturação da CTC_{efetiva} por alumínio trocável (m%) do solo de Contenda PR

O FIGURA 15 demonstra que a variável m%, conforme o esperado seguiu um padrão inversamente proporcional ao do V%. No entanto, ao contrário do solo de Arapoti, não se eliminou totalmente o Al³⁺ do complexo sortivo do solo, originalmente presente nas condições originais de pH, naturais de acidez ativa (CTC_{efetiva}). Assim sendo, no início do experimento o m% apresentava-se com 75,40% (TABELA 4), indicando um solo fortemente

álico e com um teor extremamente baixo de bases trocáveis (12,6%). Os tratamentos que menos promoveram diminuição do m% foram aqueles cuja adição de P_2O_5 foi maior: tratamentos: 4 (LTA + FNPA 4%), 7 (LTA + SS 4%) e 10(LTA + ST 4%).

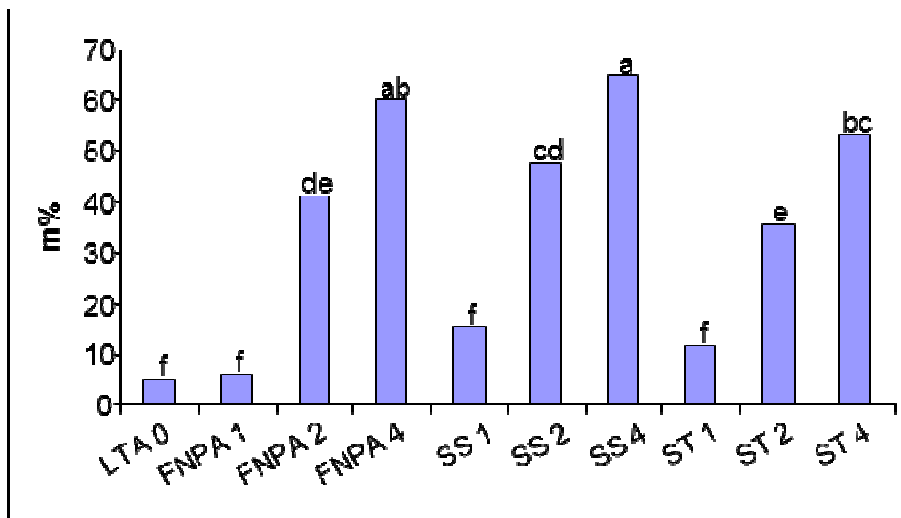
FIGURA 14: SATURAÇÃO DE BASES DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.2.1.5 Efeitos sobre a saturação da $CTC_{efetiva}$ por alumínio trocável (m%)

O FIGURA 15 demonstra que a variável m%, conforme o esperado seguiu um padrão inversamente proporcional ao do V%. No entanto, ao contrário do solo de Arapoti, não se eliminou totalmente o Al^{3+} do complexo sortivo do solo, originalmente presente nas condições originais de pH, naturais de acidez ativa ($CTC_{efetiva}$). Assim sendo, no início do experimento o m% apresentava-se com 75,40% (TABELA 4), indicando um solo fortemente álico e com um teor extremamente baixo de bases trocáveis (12,6%). Os tratamentos que menos promoveram diminuição do m% foram aqueles cuja adição de P_2O_5 foi maior: tratamentos: 4 (LTA + FNPA 4%), 7 (LTA + SS 4%) e 10(LTA + ST 4%).

FIGURA 15: SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.

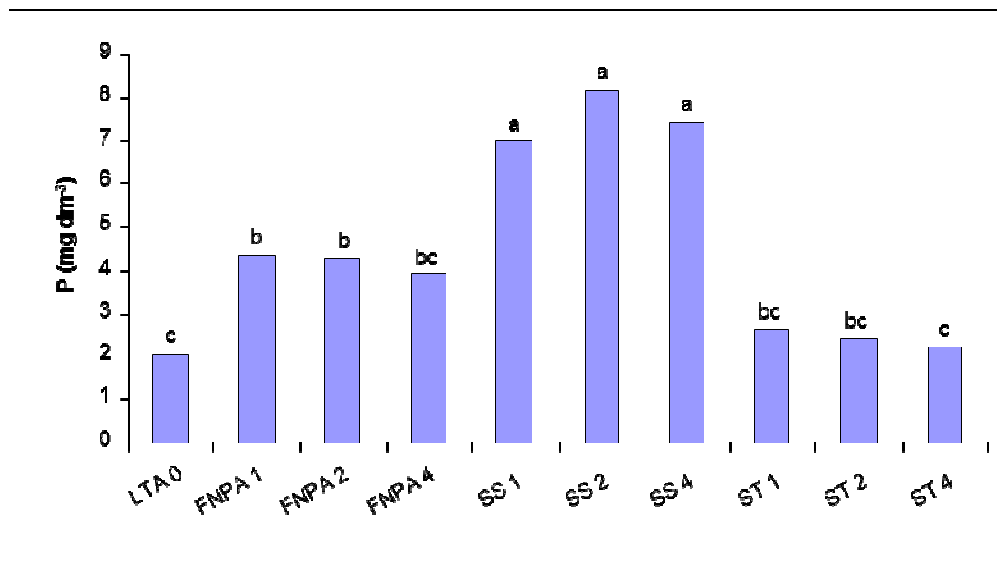


4.2.1.6 Efeitos sobre fósforo extraível

Todos os tratamentos (FIGURA 16) tenderam a gerar teores de P extraíveis do solo por Mehlich 1 (extrator de duplo ácido) maiores que o originalmente obtido antes da instalação do experimento de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (TABELA 4). No FIGURA 16 observa-se que os padrões de extração para este solo foram muito similares aos do solo de Arapoti. Ou seja, os maiores teores de P_2O_5 foram obtidos para os tratamentos 5 (LTA + SS 4%), 6 (LTA + SS 2%) e 7 (LTA + SS 4%). Ou seja, maiores teores de P extraível foram obtidos para os tratamentos em que o LTA (Lodo de Esgoto Alcalinamente tratado pelo Processo N-Viro) foi acrescido da fonte Superfosfato Simples (SS).

Por outro lado, os Tratamentos que geraram o menor teor de P extraível do solo foram aqueles em que o LTA foi misturado ao Superfosfato Triplo: 8 (LTA + ST 1%), 9 (LTA + ST 2%) e 10 (LTA + ST 4%); ao lado do Tratamento 1 (LTA 0% de P_2O_5) que não sofreu enriquecimento. Isto em função, primeiramente de o Tratamento 1 não ter sofrido qualquer adição de fosfatados, gerando para o solo teores adicionais de P unicamente advindos do LTA (vide TABELA 6). Portanto, cabem aqui, os mesmos comentários efetuados anteriormente neste item para o outro solo. O de que, é possível que, em função da maior solubilidade em água do Superfosfato Triplo, este tenha vindo precipitar-se em compostos menos solúveis tanto em meio mais ácido (Tratamento 10: LTA + ST 4%) quanto como no meio mais alcalino (Tratamento 8: LTA + ST 1%). Tal explicação encontra embasamento em RAIJ (2004).

FIGURA 16: FÓSFORO EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



Com relação aos tratamentos em que o LTA foi misturado à Fosfato Natural Parcialmente Acidulado (FNPA) observa-se no FIGURA 16 terem os valores de P extraível alcançado níveis intermediários de extração. Isto possivelmente porque os FNPA, ao serem a rocha fosfática atacada de forma incompleta por ácido sulfúrico, são "quase" superfosfatos simples (rocha fosfatada atacada por completo com ácido sulfúrico), e portanto possuem parte de seu P total na forma de apatita insolúvel ou de fosfatos solubilizados acidamente.

Assim sendo, considerando-se que para todos os tratamentos (Tratamentos 2 a 10) em que se enriqueceu o LTA com fosfatos, independentemente da fonte (FNPA, SS e ST), aplicou-se ao solo o equivalente a 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 (vide METODOLOGIA), conclui-se que extraiu-se mais P daqueles tratamentos cuja maior porção melhor solubilizou-se frente ao Mehlich 1, no caso o SS (Superfosfato Simples).

Complementarmente a isso, deve-se ressaltar o fato de que a dose de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 , aplicada ao solo em todos os tratamentos, adveio da mistura e diluição de uma mesma massa de cada uma das fontes fosfatadas utilizadas (FNPA, SS e ST) em massas crescentes de LTA (Vide TABELA 3). Assim sendo, os efeitos dos tratamentos observados quanto ao teor extraível de P dos vasos, advieram não apenas das propriedades da mistura sobre o P antes de sua aplicação ao solo, mas também dos efeitos que as propriedades do solo, afetadas pelas misturas, tiveram sobre o comportamento deste nutriente frente ao extrator de duplo ácido

Mehlich 1. Conclui-se que, frente a este extrator, o comportamento do P no solo foi muito similar entre os dois solos estudados.

4.2.2 Efeitos sobre as plantas de braquiária no solo

4.2.2.1 Efeitos sobre a produção de matéria seca

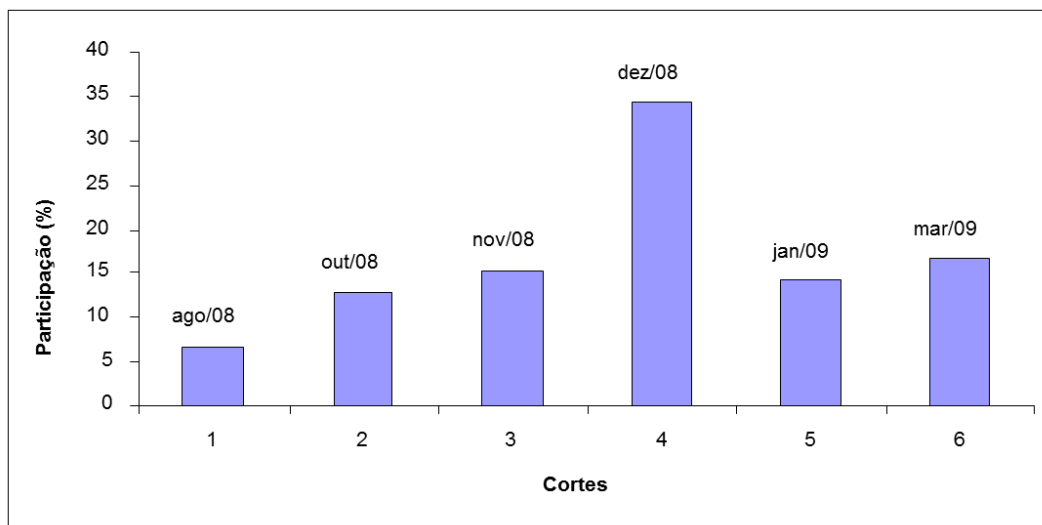
Os resultados de produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* encontram-se na TABELA 11 detalhados para cada um dos 6 cortes procedidos no período de agosto/08 a março/09.

TABELA 11: PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM VASO OBTIDA DE 6 CORTES DO SOLO DE CONTENDA.

Tratamentos		Cortes													
		1		2		3		4		5		6		Total	
		ago/08		out/08		nov/08		dez/08		jan/09		mar/09			
		g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
1	LTA 0%	0,49	2	1,37	4	4,81	15	12,71	40	5,55	17	7,24	23	32,15	100
2	LTA + FNPA 1%	1,04	3	4,23	11	5,75	14	14,81	37	7,13	18	6,96	17	39,91	100
3	LTA + FNPA 2%	3,00	7	6,47	16	6,04	15	14,24	35	5,05	12	6,27	15	41,07	100
4	LTA + FNPA 4%	1,56	5	4,27	12	5,53	16	12,39	36	4,99	14	5,79	17	34,52	100
5	LTA + SS 1%	5,79	13	8,18	18	5,49	12	15,15	33	5,29	12	5,81	13	45,71	100
6	LTA + SS 2%	6,59	14	8,81	19	6,41	14	14,52	31	4,89	10	6,25	13	47,45	100
7	LTA + SS 4%	7,34	16	9,09	20	5,37	12	12,76	28	4,56	10	5,87	13	44,98	100
8	LTA + ST 1%	0,51	1	3,78	10	7,58	20	13,04	35	5,92	16	6,81	18	37,62	100
9	LTA + ST 2%	1,84	5	3,68	10	5,87	16	12,60	35	5,91	16	6,48	18	36,38	100
10	LTA + ST 4%	1,24	3	3,26	9	7,58	20	12,85	34	5,93	16	7,04	19	37,88	100
Média		2,94	7	5,31	13	6,04	15	13,51	34	5,52	14	6,45	17	39,77	100

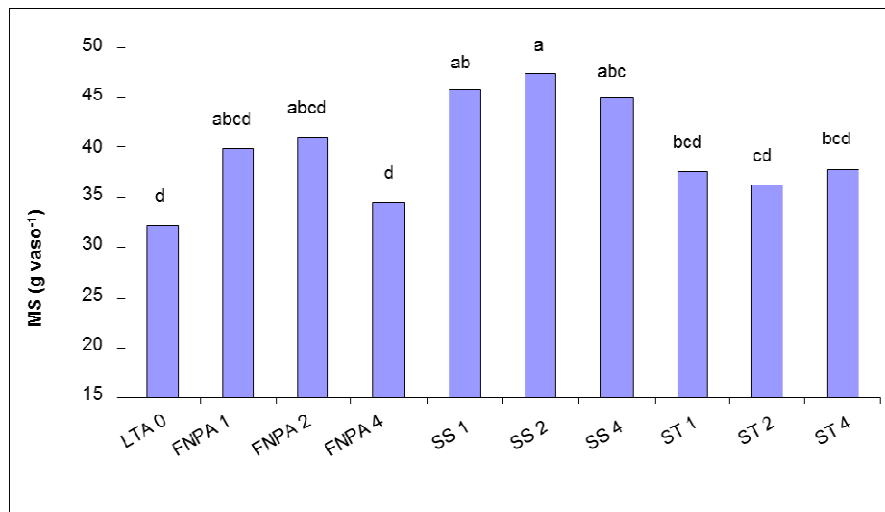
Estes dados foram resumidos em distribuição percentual da participação de cada corte no FIGURA 17. Nestes (TABELA 11 e FIGURA 17) observa-se que, da mesma forma que para o solo anterior, a produção média de matéria seca cresceu do Corte 1 até o Corte 4, decrescendo nos subseqüentes (5 e 6). Tal fato pode ser explicado pelo maior perfilhamento e desenvolvimento vegetativo das plantas, que possivelmente foi suportado pela disponibilização de nutrientes até o 4o. corte (dezembro 2008), quando a partir de então, possivelmente em função de o 4o. corte ter sido mais rente ao solo, e também da exportação dos nutrientes disponibilizados nos vasos pelos cortes anteriores, a produção passou a abruptamente decrescer.

FIGURA 17. DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CONTRIBUIÇÃO DOS 6 CORTES NA PRODUÇÃO TOTAL DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA PRODUZIDA EM VASO NO SOLO DE CONTENDA AO FINAL DO EXPERIMENTO.



A comparação de médias da somatória dos 6 cortes por tratamento está apresentada no FIGURA 18. Note-se que, da mesma forma que para o outro solo, as melhores respostas da braquiária se deu para os tratamentos em que o LTA foi enriquecido superfosfato simples. Destes a tendência de haver maior produção foi aparentemente pode ser atribuída ao Tratamento 6 (LTA + SS 2%). Os tratamentos com FNPA (Tratamentos 2, 3 e 4) e com ST (Tratamentos 8, 9 e 10) se equivaleram. A menor produção de braquiária tendeu a ser a obtida com o uso de LTA sem a adição de fosfato e a LTA + FNPA 4% (Tratamento 4). Conclui-se que, para o solo de Contenda que a substituição da dose de LTA puro, por P nas concentrações de 4% de P_2O_5 levou a mesmos resultados. Portanto, nota-se que o P para o solo de Contenda o P era um fator muito limitante.

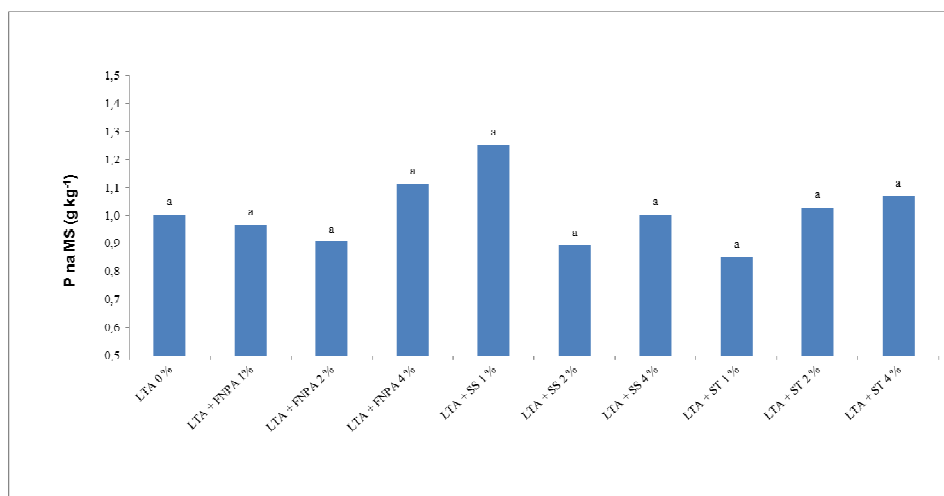
FIGURA 18 - MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



4.2.2.2 Efeitos sobre a disponibilidade de fósforo

Para fins do presente trabalho, considerou-se como disponível o P absorvido e, portanto presente na matéria seca de braquiária produzida. Os teores de P da matéria seca foram obtidos do quarto corte da braquiária, efetuado em Dezembro de 2008, conforme se pode observar no FIGURA 19.

FIGURA 19: TEOR DE FÓSFORO DA MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA PRODUZIDA NO SOLO DE CONTENDA OBTIDO DO QUARTO CORTE (DEZEMBRO/ 2008) DO EXPERIMENTO.



Evidenciando-se que somente se analisou o teor de P deste corte, o qual foi assumido como sendo o mesmo para todos os demais, em razão de as plantas, neste corte, terem atingido o pleno desenvolvimento vegetativo. Note-se que, também para este solo, houve

tendência de diminuição do teor de P na matéria seca nos tratamentos com FNPA (Tratamentos 2, 3 e 4) e, com menos evidência, para o ST (Tratamentos 8, 9 e 10), a medida que adição de P_2O_5 aumentou. O mesmo se para os tratamentos com SS (Tratamentos 5, 6 e 7).

As massas de P acumulado na matéria seca de braquiária por corte para o solo de Contenda estão apresentadas na TABELA 12. Tais resultados foram integrados na forma de somatória expressa no FIGURA 20.

TABELA 12 - FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA PRODUZIDA EM 6 CORTES NO SOLO DE CONTENDA.

Tratamentos		Cortes						
		1	2	3	4	5	6	Total
		ago/08	out/08	nov/08	dez/08	jan/09	mar/09	
		g	g	g	g	g	g	g
1	LTA 0%	11,36	0,44	1,22	4,30	4,96	6,47	28,74
2	LTA + FNPA 1%	16,53	1,16	4,72	6,42	7,96	7,77	44,54
3	LTA + FNPA 2%	12,75	2,69	5,79	5,41	4,52	5,61	36,77
4	LTA + FNPA 4%	10,58	1,33	3,64	4,72	4,26	4,94	29,47
5	LTA + SS 1%	20,43	7,81	11,03	7,40	7,14	7,83	61,63
6	LTA + SS 2%	14,62	6,63	8,87	6,46	4,92	6,29	47,79
7	LTA + SS 4%	13,19	7,59	9,39	5,54	4,71	6,07	46,49
8	LTA + ST 1%	16,51	0,64	4,79	9,59	7,49	8,62	47,63
9	LTA + ST 2%	10,94	1,60	3,20	5,10	5,13	5,63	31,60
10	LTA + ST 4%	13,72	1,32	3,48	8,10	6,33	7,51	40,45

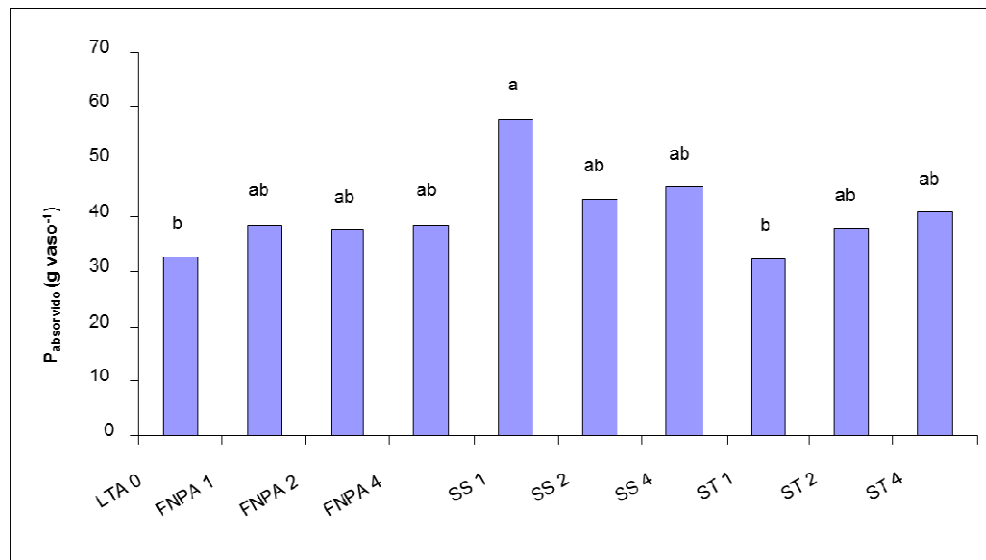
+

No FIGURA 20 observa-se que tanto os tratamentos que receberam a adição de FNPA (Fosfato Natural Parcialmente Acidulado) (Tratamentos 2- LTA + FNPA 1%, 3 LTA + FNPA 2% e 4 LTA + FNPA 4%) quanto aqueles que receberam a adição de ST (Superfosfato Triplo) (Tratamentos 8 - LTA + ST 1%, 9 - LTA + ST 2%, e 10 - LTA + ST 4%,) tenderam a apresentar acúmulo decrescente de P na matéria seca de braquiária. Interessantemente o P acumulado nos tratamentos em que se enriqueceu o LTA (Lodo de Esgoto Tratado Alcalinamente com o Processo N-Viro) com SS (Superfosfato Simples) (Tratamentos 5 - LTA + SS 1%, 6- LTA + SS 2% e 7- LTA + SS 4%) aumentou com o aumento da concentração adicionada de P_2O_5 na mistura. Curiosamente, o tratamento que recebeu apenas LTA sem adição de P também acumulou uma significativa quantidade de P (Tratamento 1 - LTA 0%).

Destes achados conclui-se que, apesar do Tratamento 7 ter-se também apresentado com os maiores valores acumulados de P, confirma-se aqui também para este solo ser

tratamento com Superfosfato Simples a 1 ou 2% de adição de P_2O_5 os mais adequados para se efetuar a mistura procurada.

FIGURA 20: FÓSFORO ACUMULADO NA MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA EM 6 CORTES PRODUZIDA NO SOLO DE CONTENDA OBTIDAS AO FINAL DO EXPERIMENTO E COMPARADOS POR TUKEY A 5%.



5. CONCLUSÕES

A mistura de fósforo a partir de diferentes fontes a LTA (lodo de esgoto tratado alcalinamente pelo processo N-Viro) é possível.

O fósforo misturado com o LTA não ficou indisponível ao longo do tempo, e os tratamentos indicaram um aumento da disponibilidade de P do solo em relação à análise inicial.

A fonte que se mostrou mais eficiente para ambos os solos foi aquela que contemplou o enriquecimento de LTA + SS (lodo de esgoto tratado alcalinamente pelo processo N-Viro + Superfosfato Simples).

As doses mais indicadas para se promover a mistura, foram as que tinham concentrações com 1 e 2 %.

Os tratamentos que receberam LTA + SS (lodo de esgoto tratado alcalinamente pelo processo N-Viro + Superfosfato Simples), tiveram para ambos os solos as melhores respostas sobre a produção de matéria seca da parte aérea da *Brachiaria brizantha*.

Os Tratamentos com LTA + St (lodo de esgoto tratado alcalinamente pelo processo N-Viro + Superfosfato Triplo) apresentaram os piores resultados em produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha*.

Os resultados mostram que o LTA (lodo de esgoto tratado alcalinamente pelo processo N-Viro) sem adição de fonte de fósforo promoveu melhora significativa nos índices V% (saturação da CTC_{total} por cátions básicos trocáveis) e m% (saturação da CTC_{efetiva} por alumínio trocável).

Os parâmetros químicos dos solos de Arapoti e Contenda, analisados ao final do experimento, melhoram, em todos os tratamentos, significativamente em relação à análise inicial.

LITERATURA CITADA

BRASIL. CONAMA. Transcrição da Ata 82^a reunião ordinária.

BRASIL. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providências. **Resolução CONAMA nº 359 (alterada para nº 375)**. Brasília, 30/06/2006. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. p. 141-146.

BORTOLON, L. e GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 32: 2751-2756, número especial. Viçosa, MG, 2008.

BURNHAN, J. C.; HATFIELD, N.; BENNETT, F. G. Use of kiln dust with quicklime for effective municipal sludge pasteurization and stabilization with the N-Viro Soil process. In: **Innovations and Uses for Lime**, ASTM STP 1135. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA, 1992.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. de O.; PAULA, J. L. de; DUARTE, M. N. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2^a Edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. p. 212.

CORRÊA, L. de A. e HAAG, H.P. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich 1 e resina em LATOSSOLO Vermelho Amarelo, Álico cultivado com três gramíneas forrageiras. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 50(2): 287-294, junho/setembro, 1993.

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

FOLADORI, G. **Limites do Desenvolvimento Sustentável**. Tradução: Marise Manoel. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2001. 221p.

GOMES, F.P. **Iniciação à Estatística**. São Paulo: Editora Livraria Nobel S.A. 3^a edição. 1971. 231p.

GOMIDE, J. A. e QUEIROZ, S. D. Valor alimentício das *Brachiarias*. p. 223-248. In: PEIXOTO, A. M; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de. **Anais do 11º simpósio sobre manejo da pastagem**. p.325. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ. Piracicaba, SP, 1994.

GREGOLIN, A. A. Considerações sobre capins do gênero *Brachiaria*. p. 309-312. In: PEDREIRA, J. V. S. e MEIRELLES, N. M. F. **Anais do encontro sobre capins do gênero *Brachiaria***. p. 312. Instituto de Zootecnia. Nova Odessa, SP, 1987.

HILDEBRAND, C.; BLUM, W. E.; HILDEBRAND, C. B.; REISSMANN, C. .B. **Manual de análise química de solos e plantas**. f. 136-138. Curitiba: Universidade Federal do Paraná/Convenio de Freibufo, 1976/1977.

<http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir728/Transcri82aRO30e310506.pdf>

LARACH, J.O.I., A. CARDOSO, A.P. DE CARVALHO, D.P. HOCHMULER, P.J. FASOLO E M. DE J. RAUEN. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. 791p. Tomos I and II. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Bol. Téc., 57. Londrina, Paraná. 1984.

LOGAN, T. J. e HARRISON, B. **Chemical and physical properties of 28 N-Viro Soils from facilities in the U.S., U.K. and Australia**. 69 f. Relatório técnico. Columbus, Ohio State University, 1993.

LOGAN, T. J. e HARRISON, B. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage (N-Viro Soil) and their effects on soil physical properties. **Journal of Environmental Quality**. Madison, WI, Volume 24/número 1, p. 153-164, january/February, 1995.

LOPES, A.S.; SILVA, C.A.P.da e BASTOS, A.R.R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. Capítulo 2. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 13-34.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 23, nº1, p.143-147, jan-mar 2005.

LUCCHESI, L. A. C. **The effects of two proccsed sewages sludges on the characteristics of three soils from Paraná, Brasil and the behavior of sludge zinc**. 359 f. Tese (Doctor of Philosophy). Ohio State University. Columbus, Ohio, USA, 1997.

LUCCHESI, L. A. C.; LACERDA, A. C.; PORTUGAL, S.. A. S.; SALVADOR, J. T. Curitiba: Reciclagem agrícola de lodos de esgoto tratados pelo Processo N-Viro. In: **ICTR 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em resíduos e Desenvolvimento Sustentável**. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Cd-rom. Florianópolis, 2004.

MAGNANTI, N. J.; ALMEIDA, M.; MAFRA, A. L. Desempenho do fosfato natural alvorada comparado ao superfosfato triplo na introdução de pastagem perene de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.4, n.2, p. 133-144, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo. Livraria Pioneira. 1974. 570p.

MARTINS, A.P.L e REISSMANN, C.B. Material Vegetal e as Rotinas Laboratoriais nos procedimentos Químicos-Analíticos. p.1-17. **Scientia Agraria**, UFPR, v.8, nº. 1. Curitiba, 2007.

NAKAYAMA, H.I.; CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol. 55 n. 2 May/Aug. 1998.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 28:385-392. Viçosa, MG, 2004.

NOGUEIRA, A. R. de A. **Manual de Laboratório: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. 334p. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 399p. Viçosa, MG. 1999.

N-VIRO. Site em <http://www.nviro.com>, 2007.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. de F.; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZACOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. p 40. Circular 72. Londrina, IAPAR, 1992.

PEREIRA, J. P. *Adubação de capins do gênero Brachiaria*. p. 117-196. In: PEDREIRA, J. V. S. e MEIRELLES, N. M. F. **Anais do encontro sobre capins do gênero Brachiaria**. p. 312. Instituto de Zootecnia. Nova Odessa, SP, 1987.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. p. 605-664. Capítulo 23. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 726.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. p. 107-115. Capítulo 4. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 726.

SALVADOR, J.T. **Reciclagem agrícola de lodo de esgoto tratado no Paraná pelo Processo N-Viro: efeitos em solos, plantas, água de percolação e a possibilidade da alteração de sua relação Ca:Mg**. f.157. Tese: (Doutorado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SBCS. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 400 p. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10. Ed. Porto Alegre, 2004.

SCHMIDT FILHO, E. **Influência da aplicação de dejetos de suínos integrada a produção vegetal sobre o comportamento do fósforo em quatro solos do Paraná**. 2006. 141 f. Tese: (Doutorado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SECCO, R. C. **Fitodisponibilidade de zinco, cobre, cromo e níquel de lodo de esgoto (N-Viro Soil) e de suínos aplicados superficialmente a Latossolo Vermelho sob plantio direto**. f. 162. Tese: (Doutorado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVA, F. C.da e RAIJ, B.van Disponibilidade de P em solos avaliada por diferentes extratores. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.

SILVA, L. C. da. **Níveis e fontes de fósforo adicionados a um biossólido tratado pelo processo N-Viro aplicado em solos ácidos do Paraná.** f. 226. Dissertação: (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SOUSA, D. M. G de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. p 157-200. Capítulo 6. In: YAMADA, T. & STIPP E ABDALLA, S.R. ed. **Fósforo na Agricultura Brasileira.** Piracicaba, Potafos. 2004. p. 726.

SOUSA, J. C de. Composição mineral de *Brachiaria* em relação a outras gramíneas. p. 91-116. In: PEDREIRA, J. V. S. e MEIRELLES, N. M. F. **Anais do encontro sobre capins do gênero *Brachiaria*.** p. 312. Instituto de Zootecnia. Nova Odessa, SP, 1987.

TAKIGUCHI, N.; KISHINO, M.; KURODA, A.; KATO, J. e OHTAKE, H. et. al. Effect of mineral elements on phosphorus release from heated sewage sludge. **Science Direct.** Bioresource Technology. 2006.

TANWAR, P.; NANDY, T.; KHAN, R. e BISWAS, R. Intermittent cyclic process for enhance biological nutrient removal treating combined chemical laboratory wastewater. **Science Direct.** Bioresource Technology, 2006.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A plain english guide to the EPA Part 503 biosolids rule.** p. 177. Washington, DC, 1994.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Part 503 – Standards for the use or disposal of sewage sludge. p. 655-686. In: **Code of federal regulations.** Washington, DC, 1994.

WERNER, J. C. Adubação de pastagens de *Brachiaria spp.* p. 209-222. In: PEIXOTO, A. M; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de. **Anais do 11º simpósio sobre manejo da pastagem.** p.325. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ. Piracicaba, SP, 1994.

WIETHÖLTER, S. Fósforo no Solo e a Cultura do Trigo. p 457-494. Capítulo 18. In: YAMADA, T. & STIPP E ABDALLA, S.R. ed. **Fósforo na Agricultura Brasileira.** Piracicaba, Potafos. 2004. p. 726.