

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS EXPERIMENTAL DE DRACENA**

**EFEITOS DA FOSFATAGEM EM PRÉ-PLANTIO NAS
CONDIÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

Lucas Aparecido Manzani Lisboa

Biólogo

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS EXPERIMENTAL DE DRACENA**

**EFEITOS DA FOSFATAGEM EM PRÉ-PLANTIO NAS
CONDIÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

Lucas Aparecido Manzani Lisboa

Orientador: Prof. Dr. Reges Heinrichs

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo

Dissertação apresentada ao Campus Experimental de Dracena – Unesp), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

2014

L769e

Lisboa, Lucas Aparecido Manzani.

Efeitos da fosfatagem em pré-plantio nas condições químicas do solo e no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar / Lucas Aparecido Manzani Lisboa. – Dracena : [s.n.], 2014.
75 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) - Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Dracena/Campus de Ilha Solteira. Dracena/Ilha Solteira, SP, 2014.

Bibliografia.

1. Solos. 2. Cana-de-açúcar. 3. Fosfatos. 4. Fósforo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

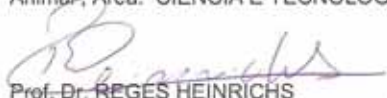
TÍTULO: Efeitos da fosfatagem em pré-plantio nas condições químicas do solo e no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar

AUTOR: LUCAS APARECIDO MANZANI LISBOA

ORIENTADOR: Prof. Dr. REGES HEINRICH

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal, Área: CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. REGES HEINRICH
Coordenadoria Executiva / Unidade de Dracena



Profa. Dra. CRISTIANA ANDRIGHETTO
Campus Experimental de Dracena / Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"



Prof. Dr. CARLOS SERGIO TIRITAN
Departamento de Solos / Universidade do Oeste Paulista

Data da realização: 30 de janeiro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUCAS APARECIDO MANZANI LISBOA – nascido aos 23 dias do mês de novembro de 1983, na cidade de Palmeira d'Oeste – SP, concluiu o ensino fundamental na EEPSEG Orestes Ferreira de Toledo em 1998, o ensino médio na ETEC – “Dr. José Luiz Viana Coutinho” na cidade de Jales – SP. Ingressou no curso de Ciências Licenciatura Plena do Centro Universitário de Jales – SP, onde em 2007 obteve o título de Licenciado em Ciências. Em 2012 ingressou no curso de Pós – Graduação “Stricto Sensu” Ciência e Tecnologia Animal, das unidades UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira e UNESP – Campus Experimental de Dracena.

A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho
original.

Albert Einstein

OFEREÇO

À minha família e aos amigos que sempre estiveram ao meu lado.

DEDICO

Aos meus amados pais Anísio e Sueli e aos meus estimados avós José (*in memoriam*) e Ágata.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira e o Campus Experimental de Dracena, da Universidade Estadual Paulista – UNESP e ao Programa de Pós Graduação Ciência e Tecnologia Animal, que possibilitaram a realização deste Trabalho, assim como os professores que, contribuíram no acesso ao conhecimento;

Aos Professores Dr. Reges Heinrichs e Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo, pela oportunidade de aprendizado, pelas orientações, pelas dedicações, e principalmente pela amizade;

À banca de qualificação, composta pelos Profs. Drs. Cecílio Viegas Soares Filho e Gelci Carlos Lupatini;

Às empresas Nutrion e Usina Santa Mercedes, por acreditarem nesse projeto;

Ao Campus Experimental de Dracena e Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, pelo uso de sua estrutura física e acadêmica;

Aos alunos dos Cursos de Engenharia Agrônômica e Zootecnia do Campus Experimental de Dracena;

Aos meus pais Anísio e Sueli que, sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram na busca de conhecimento;

À minha namorada e companheira Luciana, pela compreensão e ausência.

A Deus, por fornecer força e saúde;

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Histórico da cultura da cana-de-açúcar	12
2.2 Cana-de-açúcar como fonte de alimento	14
2.3 Fontes de fósforo utilizadas na cultura da cana-de-açúcar	16
2.4 Resíduos industriais como fonte de nutrientes	17
2.5 Fósforo na adubação da cana-de-açúcar	19
2.6 Histologia foliar da cana-de-açúcar	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Localização	22
3.2 Clima	22
3.3 Solo	23
3.4 Delineamento experimental e tratamentos	27
3.5 Instalação e condução do experimento	27
3.6. Avaliações realizadas	30
3.6.1 Produção de massa verde de forragem	30
3.6.2 Estado nutricional das plantas	32
3.6.3 Histologia foliar da cana-de-açúcar	32
3.6.4 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	34
3.6.5 Atributos químicos do solo	35
3.6.6 Análises estatísticas	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Produção de massa verde de forragem	36
4.2 Estado nutricional da planta	37
4.3 Histologia foliar da cana-de-açúcar	40
4.4 Qualidade Tecnológica da cana-de-açúcar	45
4.5 Atributos químicos do solo	47
4.5.1 Análise dos macronutrientes e demais indicadores das condições químicas do solo	47
4.5.2 Análise dos micronutrientes no solo	58
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	66

EFEITOS DA FOSFATAGEM EM PRÉ-PLANTIO NAS CONDIÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - O fósforo é considerado um elemento essencial para a cana-de-açúcar, assumindo grande importância no enraizamento, perfilhamento e na produtividade final de colmos. Com o objetivo de avaliar os efeitos da fosfatagem em pré-plantio nas condições químicas do solo e no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, foi realizado um experimento com a variedade RB 86 7515, junto à unidade produtora da Usina Santa Mercedes, em Tupi Paulista, Estado de São Paulo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições, no esquema fatorial 2 x 4, sendo duas fontes de fósforo (fosfato decantado e Fosfato monoamônico) e quatro doses de fósforo (0; 80; 120; 160 kg ha⁻¹ P₂O₅). Em folhas coletadas aos 120 dias após o plantio foi realizada a diagnose foliar (folha +1). Aos 120, 240 e 3 dias após o plantio foram avaliadas as seguintes características: espessura da epiderme abaxial, espessura da epiderme adaxial, espessura do mesofilo, diâmetro dos vasos floemáticos e diâmetro dos vasos floemáticos. Aos 362 dias após o plantio foi realizada a colheita manual dos colmos integrais, em área total das parcelas para a determinação de massa verde de forragem (t ha⁻¹). A adubação fosfatada em pré-plantio apresentou resposta positiva para produção de massa verde de forragem, independentemente das fontes utilizadas. As melhores respostas foram alcançadas em doses a partir de 120 Kg de P₂O₅ ha⁻¹. O estado nutricional da planta não foi influenciado pelas fontes e doses de fósforo. Houve influência das doses de fósforo no desenvolvimento dos vasos condutores foliares da cana-de-açúcar por ocasião da colheita. Doses acima de 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ aumentam o ATR t ha⁻¹ da cana-de-açúcar, o que não ocorreu com %fibra, %brix, %POL, %Pureza e ATR kg t⁻¹. As fontes e doses testadas de fósforo aumentaram a disponibilidade de fósforo no solo. A fonte Fosfato monoamônico reduziu o pH do solo e aumentou a disponibilidade de Cobre.

Palavras chave: Histologia. Fosfato decantado. Fosfato monoamônico. *Saccharum* spp. Solo.

EFFECTS OF PHOSPHATE FERTILIZATION IN PRE-PLANTING IN SOIL CHEMICAL CONDITIONS AND THE DEVELOPMENT OF SUGAR CANE

ABSTRACT - Phosphorus is considered an essential element for sugarcane and it has great importance in rooting, tillering and on yield of cane. With the objective of evaluation of the effects of phosphate, pre-planting in soil chemical conditions and the development of the sugarcane, an experiment with the variety RB86 7515 was conducted by the producing unit of Usina Santa Mercedes, Tupi Paulista, São Paulo. The experimental design was a randomized block with four replications in a factorial 2 x 4 with two sources (decanted phosphate and monoammonium phosphate) and four doses of phosphorus (0, 80, 120, 160 kg ha⁻¹ P₂O₅). At 120 days after planting leaves were collected for analysis (leaf +1). At 120 and 240 days after planting measured and recorded abaxial epidermal thickness, adaxial epidermis thickness, mesophyll thickness, and phloematic vessel diameter. At 362 days after planting the stalk were harvested the whole plant of sugarcane, in total area of the plots for the determination of green forage mass (t ha⁻¹). Phosphorus fertilization in pre-planting showed a positive response for the production of green forage mass, regardless of the sources used. The best responses were achieved at doses from 120 kg P₂O₅ ha⁻¹. The nutritional condition of the plant was not influenced by sources and levels of phosphorus. Doses of phosphorus influenced the development of leaves conducting vessels of sugar cane at harvest. Doses above 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ significantly increases the ATR (t ha⁻¹), which did not occur with fiber (%), brix (%), POL (%), purity (%) and ATR (kg t⁻¹). The sources and doses of phosphorus tested improved the soil chemical properties. The decanted phosphate can replace the monoammonium phosphate fertilization in pre-planting of sugarcane.

Keywords: Histology. *Saccharum* spp. Soil. Decanted phosphate. Monoammonium phosphate

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial como o maior produtor de cana-de-açúcar, com mais de 9 milhões de hectares plantados na safra 2012/2013, o que representa apenas 2,3% da área agrícola do País (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2012). Os bons números e o aprimoramento tecnológico permitem que o país seja também o maior exportador mundial de açúcar, respondendo sozinho por 45% de todo o produto comercializado no mundo (TOMAZ, 2009).

A cana-de-açúcar é a principal matéria prima no setor sucroenergético, mas também é utilizada como fonte de volumoso na alimentação animal. Dentre os principais fatores que contribuem para seu uso no arração animal, podemos destacar: a grande produção de forragem por unidade de área; a facilidade de cultivo e manejo; possibilidade de sucessivos cortes mantendo sua qualidade como forragem e baixo custo de massa seca produzida. Comparando com as outras culturas anuais, apresenta uma flexibilidade quanto às épocas de plantio e corte o que facilita o gerenciamento da atividade; tornando-se uma das fontes de energia de menor custo para rebanhos de pequena, média e alta produtividade (FREITAS et al., 2006b; OLIVEIRA et al., 2007a).

Araújo et al. (2009) relatam que fósforo e nitrogênio são fatores que podem influenciar, dentre outros, para ocorrência de uma boa população de plantas. Portanto, para chegar a uma boa produção de colmos, há necessidade de o solo estar bem corrigido e adubado. Além disso, variedade, luminosidade, temperatura, umidade do solo e disponibilidade de nutrientes também podem influenciar no perfilhamento da cana-de-açúcar (SILVA JÚNIOR et al., 2012).

Cerca de 70% dos solos brasileiros cultivados apresenta alguma deficiência na disponibilidade de fósforo (SANTOS et al., 2002). Considerado um elemento essencial para as plantas, a ausência do fósforo resulta em grande prejuízo na produção de cana-de-açúcar, causado pela redução do atraso desenvolvimento da parte aérea (ROSSI;

MONTEIRO, 1999). O fósforo tem a propriedade de aumentar o número de raízes da planta tornando-se mais eficiente na absorção e a utilização de outros nutrientes, contribuindo no aumento da resistência fitossanitária e propiciando melhor condição para suportar baixas temperaturas e a falta de umidade no solo (YAMADA; ABDALLA, 2004; NOVAIS et al., 2007).

A baixa disponibilidade de fósforo, principalmente no sistema radicular, afeta a quantidade de Adenosina Tri Fosfato (ATP) nas células das raízes. Devido à deficiência de energia, o sistema radicular é afetado no controle da absorção, da translocação e do metabolismo do nitrato na parte aérea da planta (OLIVEIRA et al., 2007b). Segundo Calheiros (2012), o acúmulo de matéria seca, sacarose, fósforo e de proteína bruta é influenciado pela adubação fosfatada. A utilização de fosfatos decantados de origem industriais está em ampla expansão, por ser uma fonte de valor econômico baixo e diminuir o impacto ambiental no destino na forma de resíduos nas áreas de estocagem das indústrias produtoras de adubo. A maioria das pesquisas desenvolvidas com fontes alternativas de fosfatos no Brasil tem por objetivo substituir os fosfatos industriais solúveis, por apresentar um preço elevado no mercado (PRADO; FERNANDES, 2000).

Diante do exposto, esse trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos dos níveis de fósforo e fontes (Fosfato monoamônico e fosfato decantado) em pré-plantio nas condições químicas do solo e no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico da Cultura da Cana-de-Açúcar

Na classificação botânica, a cana-de-açúcar pertence à família Poaceae, gênero *Saccharum* e possui diversas espécies, como a *S. spontaneum* L., *S. sinnensis* R., *S. robustum* J., *S. barveri* J. e *S. officinarum*, Cronquist (1981). Atualmente, as variedades cultivadas comercialmente tendem a combinar diversas características agrônomicas, como aumentar a resistência a fatores bióticos e abióticos, qualidade nas

características tecnológicas principalmente de matéria seca, suportar mais cortes em seu ciclo, entre outras.

Existem especulações entre os autores em relação à origem dessas espécies, citando principalmente regiões da Índia, as ilhas do Arquipélago da Polinésia e a Nova Guiné. Não há relatos de um local exato de sua origem, mas descrevem que seja nativa do sudeste da Ásia (DILLEWIJN, 1952; TOMAZ, 2009).

O cultivo de cana-de-açúcar foi iniciado no Brasil em 1502, quando utilizaram mudas oriundas da Ilha da Madeira. Mas sua expansão no território brasileiro não avançou, devido aos interesses dos colonizadores, como fonte econômica naquela época era o extrativismo da madeira e descobrir novas minas de ouro e prata. Apenas no ano de 1532, Martin Afonso de Souza inicia o cultivo da cana-de-açúcar com finalidades comerciais e econômicas, dividindo o território brasileiro em Capitânicas Hereditárias e incentivando seu cultivo (TOMAZ, 2009).

Somente na década de 70, a cultura da cana-de-açúcar passa a ter grande importância no cenário econômico brasileiro, quando o Governo Federal, decreta a criação do Programa Nacional de Melhoramento de cana-de-açúcar ligado ao IAA (IAA/PLANALSUCAR). Na ocasião a COPERSUCAR e PLANALSUCAR impulsionam à produção canavieira nacional, através da criação e lançamento de novas variedades, aprimorando novas técnicas industriais e principalmente técnicas culturais no sistema de produção (RIDESA, 2013; TOMAZ, 2009).

Após a primeira e segunda crise energética na década de 70 e com a elevação no preço do barril de petróleo, em novembro de 1975, o Governo Federal cria o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), por meio do Decreto nº 75.593, mas não apresentou grande expansão forçando o governo, posteriormente, modificá-lo aperfeiçoando-o através do Decreto nº 83.700 editado em julho de 1979. Isto impulsionou o setor sucroenergético em maiores produções de álcool chegando a 3,4 bilhões de litros e estimulando a indústria automobilística na produção de veículos movidos exclusivamente com combustível etanol (RIDESA, 2013; RUIZ, 2006; TOMAZ, 2009).

O programa declinou-se na década de 80, devido ao preço internacional do petróleo que começava a abaixar, tornando o álcool combustível economicamente inviável tanto para o consumidor quanto para as destilarias produtoras. No mercado internacional, o preço do açúcar apresentava uma grande elevação no preço, tornando a produção do álcool pouco vantajosa e obrigando as grandes usinas fabricar somente o açúcar. Devido a pouca produção do álcool combustível, agrava o abastecimento de álcool nos postos (RUIZ, 2006).

O Governo regulamentou a comercialização dos carros flex-fuel no final de 2002. Em 2003 uma montadora apresenta o primeiro carro flexível em combustível, tornando uma realidade a produção desses carros e fazendo com que outras montadoras instaladas no Brasil passem a produzir carros bicomcombustíveis, chegando a 90% a venda de carros 0 Km equipados com motor flex (TOMAZ, 2009).

2.2 Cana-de-Açúcar como Fonte de Alimento

Produtores, técnicos e pesquisadores buscam alternativas para fontes de volumosos e melhores índices de produção de leite e de carne, tentando encontrar equilíbrio econômico no sistema produtivo. A cana-de-açúcar é muito utilizada como planta forrageira, pois apresenta rusticidade no ciclo produtivo. Além disso, possui disponibilidade de colheita no ano inteiro, principalmente no período seco; apresenta baixo custo de produção quando comparada com as culturas convencionais, como o milho e sorgo. O conhecimento sobre o uso de ferramentas e correção das exigências nutricionais dessa forrageira propiciou um aumento significativo de sua utilização na alimentação dos animais (OLIVEIRA et al., 2007a).

Em cadeias produtivas de carne bovina ou de leite, utiliza-se a cana-de-açúcar em substituição das silagens de milho e sorgo, que são mais utilizados como fontes de alimentos volumosos. No entanto, os baixos valores nutricionais dessa forrageira, tais como a proteína, fibra de baixa degradação ruminal, aumento na quantidade de protozoários no rúmen e principalmente o desbalanço de minerais, têm limitado seu uso

em sistemas de produção de leite e corte. A qualidade da forragem refere-se a fatores que influenciam no valor nutritivo na alimentação dos animais, de modo que estão relacionados à digestibilidade e ao consumo de alimentos, que determinam o suprimento de nutrientes para os diferentes processos fisiológicos no metabolismo do animal (FREITAS et al., 2006b)

A cana-de-açúcar possui numerosas variedades com características diversificadas, destacando a produção de massa seca por área, facilidade nos tratamentos culturais e principalmente a qualidade da fibra (DILLON, 2007; FREITAS et al., 2006a).

É muito discutido se a melhor variedade de cana-de-açúcar para a indústria é também, a melhor como fonte de volumoso na alimentação animal. Estudos evidenciam que o aumento do uso da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos ocorreu devido elevado potencial de produção de energia, 15 a 20 de NDT ha⁻¹ devido ao alto teor de sacarose (ROCHA NETO et al., 2012).

Machado et al. (2009) relataram que as variedades de cana-de-açúcar apresentam curvas de maturação diferentes, principalmente na porcentagem de sacarose e o florescimento. Esses resultados demonstram que, em uma atividade pecuária cujo período de produção é muito longo, dever ser utilizada a diversificação de variedades, minimizando assim a perda de qualidade da forragem pelo corte antes do ponto de maturação. Estudando cinco variedades de cana-de-açúcar, Carvalho (1993) observou aos 241 dias de vegetação a concentração máxima de fibra insolúvel em detergente neutro, havendo redução no teor à medida que avançava a idade. Oliveira et al. (2007a), estudando 16 variedades de cana-de-açúcar, ressaltaram que a porcentagem de fibra insolúvel em detergente neutro variou de 45,10% a 58,00% e o teor de fibra insolúvel em detergente ácido de 25,9% a 37,50% na matéria seca.

2.3 Fontes de Fósforo Utilizadas na Cultura da Cana-de-Açúcar

As principais fontes de P utilizados para fosfatagem na cultura da cana-de-açúcar são os fosfatos naturais; termofosfatos e fosfatos acidulados. No mercado existem diversas opções de fontes de fósforo, mas as que mais se destacam são os fosfatos acidulados, por apresentarem maior qualidade e quantidade comercializada. Esse fato ocorre devido à elevada quantidade de P disponível para o vegetal. No entanto, essa eficiência está diretamente ligada aos métodos de aplicações, preparo do solo e principalmente a espécie vegetal que será cultivada (VITTI; MAZZA, 2002; OLIVEIRA JUNIOR, 2001).

Existem vários tipos de jazidas de rochas fosfáticas, todas estão ligadas aos grupos das apatitas, que podem ser associadas às atividades ígneas ou em rochas alcalinas do tipo carbonatito, característico no Brasil. Os principais fosfatos brasileiros têm origem de Catalão, Jacupiranga, Patos de Minas e Araxá e apresentam características estruturais cristalinas muito estáveis, afetando diretamente na solubilidade em água e também na solubilidade em ácido cítrico atingindo no máximo 5%. Sua eficiência no fornecimento do fósforo para plantas é muito baixa, por serem influenciadas principalmente pelas condições de acidez do solo. Por essas razões, é viável a aplicação dos fosfatos naturais antes da correção da acidez do solo (OLIVEIRA JUNIOR, 2001).

Os fosfatos naturais com origem sedimentar apresentam geologia complexa, podem ser formados por detritos, precipitados químicos ou mais comumente por grande quantia de apatita fóssil orgânica (OLIVEIRA JUNIOR, 2001). A composição química predominante desses minerais são as apatitas com rede cristalina complexa que possuem alto grau de substituições isomórficas de fosfato e carbonato, tornando sua estrutura mais susceptível à solubilização. Essas apatitas recebem o nome de francolitas e fosforitas (OLIVEIRA JUNIOR, 2001; KLIEMANN; LIMA, 2001; TOMAZ, 2009).

Os fosfatos originados de rochas naturais são a matéria prima para o processamento industrial dos fertilizantes com alta solubilidade em água. Esse evento prevê a degradação da estrutura cristalina com a reação de ácidos fortes. O ácido sulfúrico é utilizado no processamento do superfosfato simples. Já o ácido fosfórico utilizado para obtenção do superfosfato triplo, ou mesmo sofrendo a elevação da temperatura no seu processamento, origina os termofosfatos. A combinação dos fosfatos naturais com a amônia produz os fosfatos de monoamônio (MAP) e diamônico (DAP), com alta concentração de nutrientes, tornando-os vantajosos para transporte à longas distâncias (OLIVEIRA JUNIOR, 2001; TOMAZ, 2009).

O desempenho dos fosfatos solúveis, dentre eles os termofosfato e o multifosfato magnesiano, são superiores aos fosfatos naturais de origem nacional. Os fosfatos solúveis em água mais comumente utilizados são o superfosfato simples (SS), o superfosfato triplo (ST) e os fosfatos monoamônico (MAP), pois são amplamente utilizados como fonte padrão de fósforo em experimentos que avaliam a eficiência agrônômica relativa de fontes de P (SANTOS et al., 2010).

Oliveira (2012) estudou espécies de capins adubados com fontes alternativas de fósforo, comparando a farinha de osso com o superfosfato simples no estabelecimento de pastagem, obtendo resultados positivos já aos 30 dias após a aplicação. Tomaz (2009) estudou fonte de fosfato residual de origem industrial, utilizado no tratamento de antiferrugem em chapas metálicas. O fósforo residual foi aplicado na forma de fosfatagem pré-plantio na cana-de-açúcar. O autor concluiu que é viável e vantajoso economicamente a substituição de outras fontes de fósforo.

2.4 Resíduos Industriais como Fonte de Nutrientes

A busca por novas fontes de macronutrientes exige das indústrias de adubos a procura no ambiente de suas fontes de matéria prima, que geram grandes quantidades de resíduos. Esses resíduos provocam grandes danos ao ambiente, principalmente no solo e fontes de água potável. Estudos visam soluções para minimizar esses impactos

através do tratamento ou beneficiamento dos resíduos gerados. Os produtos obtidos após seu beneficiamento possuem nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, que podem ser utilizados na forma de adubo no setor agrícola.

São escassos os trabalhos publicados com cana-de-açúcar com enfoque na exigência nutricional e exportação de macronutrientes, utilizando especialmente as variedades mais modernas, as quais sofreram significativa interferência genética através do melhoramento vegetal (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003).

Significativas fontes de P têm origem nos resíduos industriais, tais como torta de filtro, bagaço e cinzas de caldeira (SANTOS et al., 2009). A utilização desses resíduos, neste caso, tem por objetivo não somente a reutilização, mas substituir parcialmente a necessidade do P pela cultura ao longo do seu ciclo. Além disso, proporcionar grandes alterações nos atributos químicos e físicos do solo, aumentando a disponibilidade do nitrogênio, fósforo, cálcio e a capacidade de retenção de água (KORNDÖRFER, 2004). Esses resíduos podem ser empregados na formulação de compostos orgânicos e contribuir para a obtenção de fertilizantes com maiores teores de fósforo.

Segundo Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009), não se sabe as quantidades exatas dos teores de P em compostos orgânicos ou de indústrias que são efetivamente disponibilizados para as plantas, nem a importância ou a necessidade de aplicar parte da quantidade requerida do nutriente numa forma prontamente disponível. Por apresentar grandes interações do P com os componentes do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999) e principalmente sua importância para o desenvolvimento da cana-de-açúcar estudos dessa natureza são cada vez mais necessários para viabilizar a reciclagem agrícola dos compostos residuais orgânicos ou de indústrias (ORLANDO FILHO, 1983).

O fosfato decantado tem origem dos efluentes originados na produção dos fosfatos solúveis que apresentam características ácidas. Esses efluentes são beneficiados em lagoas de tratamento, onde recebem uma solução de calcário para sua neutralização (ácido + base) resultando na formação de sal e água. O sal produzido é decantado recebendo o nome de RLT1 (Resíduo da Lagoa de Tratamento 1) e apresenta na sua composição pouco fósforo solúvel em água, que é inviável para

utilização na agricultura. O material sobrenadante resultante do primeiro tratamento é encaminhado para uma segunda lagoa, onde recebe cal hidratada. Neste caso, o produto obtido recebe o nome de RLT2. Esse processo garante um melhor tratamento do efluente e eleva a concentração de fósforo solúvel do produto. O material formado é sedimentado para obtenção do fosfato decantado com 9% de fósforo solúvel em água. Com essas características químicas, o produto passa a ser viável e recomendado na agricultura (ESTADO DE MINAS GERAIS, 2008).

2.5 Fósforo na Adubação da Cana-de-Açúcar

O fósforo é o segundo macronutriente que mais limita o crescimento dos vegetais depois do nitrogênio, compondo aproximadamente 0,2% do peso de matéria seca das plantas. Promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, desempenha função no metabolismo dos vegetais, particularmente na bioquímica das proteínas, atua na divisão celular e nos processos fotossintéticos, bem como, possui papel fundamental no armazenamento de ATP (OLIVEIRA JUNIOR, 2001).

As plantas absorvem o fósforo na forma iônica, principalmente como ortofosfatos, por meio da solução do solo que apresenta uma pequena quantidade desse ânion, devido ao fósforo lábil que estão fixados com ligações fracas aos minerais e matéria orgânica, estabelecendo um equilíbrio químico com a solução no solo. Se a adsorção for muito severa e por muito tempo, aparecem formas mais estáveis, aumentando a concentração de fósforo não lábil. O pH do solo é um dos fatores que podem influenciar a forma química do fósforo presente na solução e também a utilização do fósforo pelas plantas (RAIJ, 1991; NOVAIS et al., 2007).

A disponibilidade do fósforo é controlada pela força iônica devido à sua concentração além do teor de metais Fe e Al, e ânions competitivos principalmente os ácidos orgânicos (HINSINGER, 2001). Yamada e Abdalla (2004) citam que, o fósforo ajuda na absorção e utilização de outros nutrientes, propiciando o aumento da

resistência da planta a fatores bióticos, como ataque de alguns patógenos, ou abióticos, como baixas temperaturas e falta de umidade (TOMAZ, 2009).

O fósforo quando disponibilizado para a planta via adubo é pouco aproveitado, pois cerca de 80% do fósforo aplicado no solo torna-se indisponível, ficando imóvel, adsorvido ou por adquirir forma orgânica. Embora a quantidade total de fósforo no solo possa ser relativamente alta, na maioria das vezes, este não está na forma lábil ou ao alcance da rizosfera. Em culturas anuais, observar-se aproveitamento na ordem de 20% de absorção. No entanto, a quantidade aplicada via solo, em geral, superam muito a extração pelas culturas, diferindo, nesse aspecto, do nitrogênio e do potássio (RAIJ, 1991).

Os solos brasileiros, de modo geral, possuem baixo teor de fósforo. A correção desse desequilíbrio envolve alta competição entre solo (fixação) e planta (absorção). O fósforo entra em contato com a raiz pelo processo de difusão, motivo pelo qual é necessária a presença do nutriente próximo ao sistema radicular. A fosfatagem via solo propicia: maior volume de fósforo em contato com o solo, aumentando sua fixação; aumento no volume de solo explorado pelas raízes; aumento na absorção de água e nutrientes. Em cana-de-açúcar o fósforo assume importância no vigor do enraizamento e no perfilhamento, conseqüentemente, na produtividade de colmos (VITTI; MAZZA, 2002; NOVAIS et al., 2007).

O sintoma mais importante da deficiência de fósforo é o baixo crescimento da planta, com má formação das folhas. Em estágio avançado de deficiência apresenta folhas arroxeadas, mais estreitas e curtas, afetando diretamente o processo fotossintético, devido à menor quantidade de clorofila. Conseqüentemente, baixo crescimento por apresentar menor desenvolvimento do entrenó e menor diâmetro dos colmos. O teor de P na planta está diretamente relacionado com a disponibilidade do nutriente no solo. A fosfatagem de pré-plantio reflete no aumento de massa de forragem e com melhor qualidade (YAMADA; ABDALLA, 2004).

2.6 Histologia Foliar da Cana-de-Açúcar

As folhas são órgãos responsáveis por 90% da massa seca acumulada na cana-de-açúcar, resultante da atividade fotossintética (CASTRO, 2002). Em função disso, as modificações macro e micromorfológicas de cada cultivar, assim como os efeitos provocados por elas, devem ser cada vez mais estudadas, a fim de melhorar o entendimento e direcionamento das pesquisas pertinentes ao tema (LISBOA et al., 2013).

A sintomatologia é muito utilizada para avaliação dos danos causados por fatores bióticos ou abióticos. Neste caso, aspectos estruturais auxiliam na compreensão dos mecanismos que provocam as injúrias (TUFFI SANTOS et al., 2007). No entanto, é importante salientar que as alterações visíveis a olho nu são, na verdade, derivadas de modificações das estruturas dos tecidos dérmicos, fundamentais ou vasculares das plantas, tornando-se necessário o conhecimento aprofundado dessas transformações motivadas pelas variações do meio (CASTRO et al., 2009; LISBOA et al., 2013).

Segundo Silva Júnior et al. (2012), a morfofisiologia das plantas não depende somente da presença da luz, mas também da atenuação e a qualidade luminosa, além da disponibilidade de nutrientes presentes no solo que influenciam no processo de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (DURU; DUCROCQ, 2000).

Exemplos demonstram a importância do conhecimento morfoanatômico e funcional das plantas. Medeiros et al. (2011) constataram aumentos significativos no diâmetro polar estomático quando da aplicação de nitrogênio, que propicia trocas gasosas e controle da transpiração mais eficiente.

Conhecer a morfologia foliar, as funções dos tecidos vegetais e suas possíveis modificações frente aos danos causados pela ausência de nutrientes, podem ser determinantes na tomada de decisão quanto ao manejo adequado a ser empregado, assim como prever os prejuízos estimados pelo não controle da deficiência nutricional.

O conhecimento do estado nutricional da cultura através da diagnose foliar é uma ferramenta eficiente, pois a planta é o próprio extrator de nutrientes do solo, possibilitando um diagnóstico nutricional direto e preciso (SOUZA et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento foi realizado no período de Julho de 2012 a Outubro de 2013, na unidade produtora da Usina Santa Mercedes, no município de Tupi Paulista, Estado de São Paulo, situada na Longitude Oeste 51º 36' 53,83", Latitude Sul de 21º 24' 59,85" e altitude de 396 m.

3.2 Clima

O clima, conforme a classificação de Koppen, é do tipo Aw, caracterizado pelas estações de clima quente no verão e de inverno seco, sendo que, os meses de novembro a março apresentam o maior índice pluviométrico. As médias anuais de temperatura são 30,4 °C de máxima, 19,2 °C de mínima e umidade relativa média de 78% e precipitação acumuladas de 1311,6 mm (Figura 1 e 2).

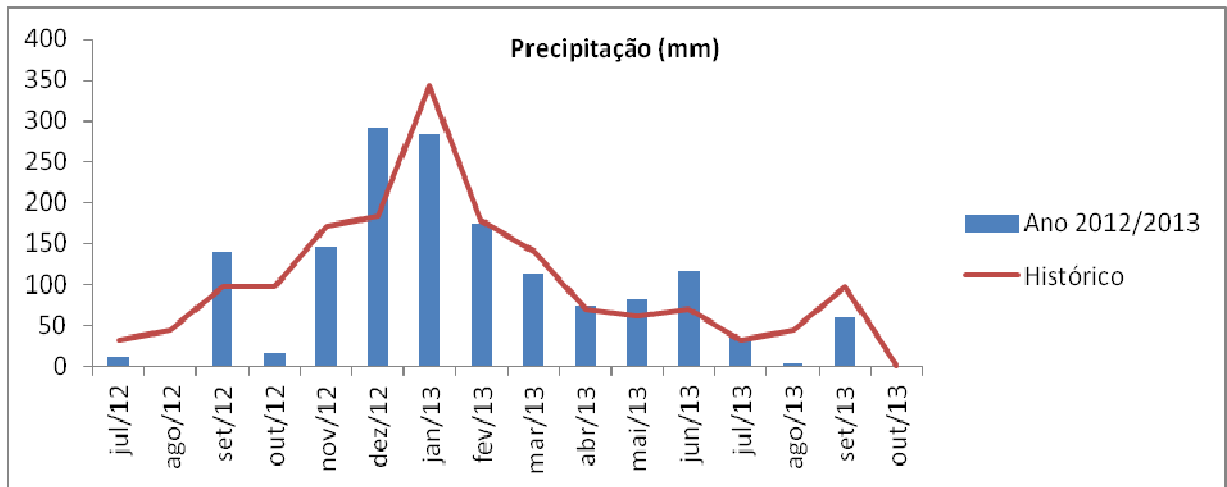


Figura 1- Precipitação mensal durante a condução do experimento Julho de 2012 a Outubro de 2013 e histórico no período de cinco anos.
Fonte: elaborado pelo autor

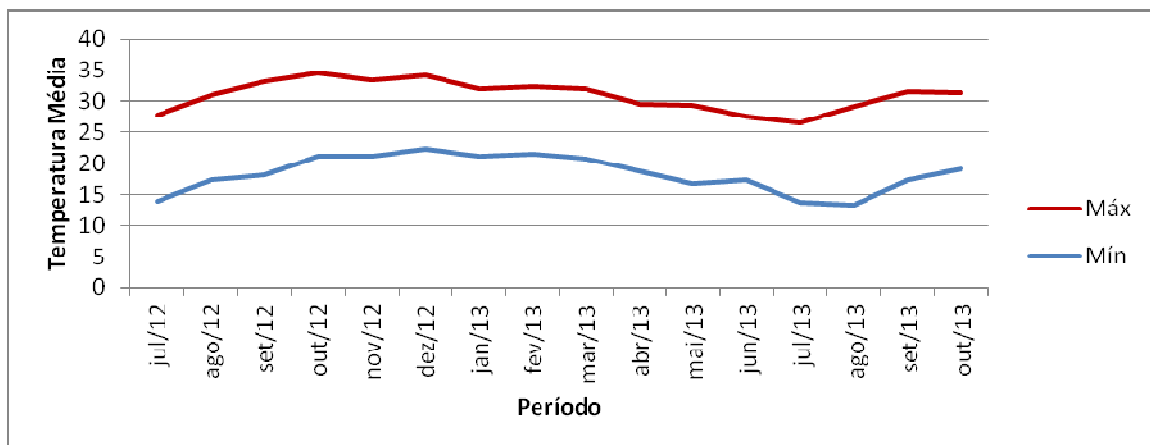


Figura 2- Temperaturas máximas e mínimas durante a condução do experimento de Julho de 2012 a Outubro de 2013.
Fonte: elaborado pelo autor

3.3 Solo

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2006) com boa drenagem. Por ocasião da instalação do experimento em julho de 2012, foi realizada amostragem

de solo nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm para análise química do solo. O solo foi analisado no Laboratório Pirasolo Laboratório Agrotécnico de Piracicaba, Estado de São Paulo. As determinações da composição química do solo foram: P, K, Ca, e Mg utilizando-se o método da resina trocadora de íons, S (SO_4^{-2}) por turbimetria extraído com fosfato de cálcio, pH em CaCl_2 ; matéria orgânica por colorimetria; H + Al com solução tampão SMP; Al em KCl. Em relação aos micronutrientes, o boro foi extraído via água quente e Cu, Fe, Mn e Zn em DTPA TEA pH 7,3 (RAIJ et al., 2001). Os resultados da análise química do solo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Atributos químicos do solo por ocasião da instalação do experimento em julho de 2012.

	Profundidade	
	0 – 20 cm	20 – 40 cm
pH CaCl ₂	5,6	5,2
MO g dm ⁻³	13	9
P mg dm ⁻³ (resina)	2	3
K mmol _c dm ⁻³ (resina)	2,7	2,5
Ca mmol _c dm ⁻³ (resina)	13	12
Mg mmol _c dm ⁻³ (resina)	7	7
H + Al mmol _c dm ⁻³	18	20
Al mmol _c dm ⁻³	0	0
Soma de bases mmol _c dm ⁻³	23	22
CTC mmol _c dm ⁻³	41	42
Saturação por bases (V%)	56	52
Saturação Al (m%)	0	0
S (SO ₄ ⁻²) mg dm ⁻³	8	11
Cu mg dm ⁻³ (DTPA)	0,6	0,8
Fe mg dm ⁻³ (DTPA)	15	11
Zn mg dm ⁻³ (DTPA)	0,4	0,4
Mn mg dm ⁻³ (DTPA)	14,0	8,8
B mg dm ⁻³ (Água quente)	0,15	0,28

Fonte: elaborado pelo autor

As análises granulométricas foram realizadas pelo método de sedimentação (EMBRAPA, 2006) e os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Valores granulométricos em amostras de solo no ano de 2012.

Fração Granulométrica	Profundidade	
	0 – 20 cm	20 – 40 cm
Argila g kg ⁻¹	113	137
Silte g kg ⁻¹	37	33
Areia Total g kg ⁻¹	850	830
Areia Grossa	150	120
Areia Fina	700	710

Fonte: elaborado pelo autor

As fontes de fosfato foram analisadas em laboratório para determinação das seguintes concentrações de P₂O₅: total, solúvel em água, solúvel em ácido cítrico (2%) e solúvel em citrato neutro de amônio (LANARV, 1983). Os resultados dos teores de nutrientes do fosfato decantado e Fosfato monoamônico estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Análise química dos fertilizantes utilizados no experimento.

Fonte	Nutriente	Solubilidade	Teor%
FD	Fósforo	P (total)	12,67
		P (água)	4,81
		P (CNA + água)	10,43
		P ácido cítrico	10,58
MAP	Nitrogênio	N (total)	9,15
		P (total)	50,10
	Fósforo	P (água)	44,19
		P (CNA + água)	49,42
		P ácido cítrico	47,46

FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

3.4 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 7 tratamentos e 4 repetições, totalizando 28 unidades experimentais, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas fontes de fósforo (fosfato decantado e Fosfato monoamônico) e quatro doses de fósforo (0; 80; 120; 160 kg ha⁻¹ P₂O₅). Foi considerado somente um tratamento controle por apresentar a mesma concentração de P₂O₅, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4- Descrição dos tratamentos.

Tratamentos	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Fosfato Decantado (kg ha ⁻¹)	MAP (kg ha ⁻¹)
1	0	---	---
2	80	631,41	---
3	120	947,12	---
4	160	1262,82	---
5	80	---	159,68
6	120	---	239,52
7	160	---	319,36

Obs.: Doses calculadas a partir do teor total de P₂O₅. MAP – Fosfato monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

3.5 Instalação e Condução do Experimento

No dia 06 de agosto de 2012, foi iniciada a preparação da área para instalação do experimento, foi realizada a calagem aplicando 2,34 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com o PRNT 70% para elevar o V% do solo para 60% e a gessagem em área total, foi aplicado 1,2 t ha⁻¹ de gesso agrícola com 16% de enxofre. A fosfatagem foi realizada no dia 04 de outubro de 2012 seguindo os tratamentos na Tabela 4, posteriormente foi realizado o plantio da cana-de-açúcar variedade RB 86 7515, com 500 kg ha⁻¹ do adubo 05-25-25. Foram aplicados 0,25 kg ha⁻¹ de Fipronil diluído em um condicionador de solo composto de matéria orgânica líquida na forma de ácidos húmicos e fúlvicos na

dosagem de 250 L ha^{-1} (Figura 3), para prevenir o ataque de pragas nos toletes de cana-de-açúcar e disponibilizar matéria orgânica e ácidos húmicos e fúlvicos.



Figura 3- Implantação dos tratamentos no ano de 2012.

Fonte: elaborado pelo autor

As unidades experimentais eram compostas por $10,0 \text{ m} \times 9,0 \text{ m}$, totalizando $90,0 \text{ m}^2$. Cada unidade experimental continha seis linhas de cana-de-açúcar com espaçamento de $1,50 \text{ m}$ entre linhas.

Foram destinados três metros de corredor entre blocos e espaçamento de $1,0 \text{ m}$ entre as unidades experimentais (Figura 4).



Figura 4- Área do experimento no ano de 2012.

Fonte: elaborado pelo autor

Não foi constatado grande número de plantas invasoras que poderiam prejudicar o desenvolvimento da cana-de-açúcar nas unidades experimentais. O controle de plantas invasoras foi realizado somente entre as unidades experimentais e os blocos. Para o controle de pragas foram soltas 7800 cotésias (*Cotesia flavipes*), porém, foi necessária a aplicação de $0,05 \text{ L ha}^{-1}$ Triflumurom (Certero – Bayer) utilizando avião pulverizador para o controle da broca pequena (*Diatrea sacchralis*).

No dia 01 de outubro de 2013, foi realizada a colheita manual da cana-de-açúcar em área total das unidades experimentais (Figura 5). Foi utilizada uma balança digital acoplada na máquina carregadeira (Figura 6), para a pesagem de toda matéria verde produzida.



Figura 5- Colheita manual da cana-de-açúcar no ano de 2013.

Fonte: elaborado pelo autor

3.6 Avaliações Realizadas

3.6.1 Produção de Massa Verde de Forragem

A produção de massa verde de forragem (MVF) foi obtida a partir do corte e pesagem das plantas da unidade experimental, sendo posteriormente os valores transformados para $t\ ha^{-1}$ (Figura 4).

Foi calculado o índice de eficiência agrônômica das doses testadas (KORNDORFER; MELO, 2009), seguindo a fórmula:

$$\text{IEF: } \frac{(\text{MVFPD} - \text{MVFPT})}{\text{DF}} \times 100$$

Onde:

IEF: índice de eficiência agrônômica por quilo de fósforo aplicado em pré-plantio;

MVFPD: massa verde de forragem produzida (kg ha^{-1});

MVFPT: massa verde de forragem produzida no controle (kg ha^{-1});

DF: Dose de fósforo (kg ha^{-1}).



Figura 6- Pesagem da cana-de-açúcar para determinação da massa de forragem no ano de 2013.

Fonte: elaborado pelo autor

3.6.2 Estado Nutricional das Plantas

Para avaliar o estado nutricional das plantas foi realizada a análise laboratorial dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas usadas para diagnose (folha +1 totalmente expandida e com a lígula visível), utilizando-se os 20 cm centrais sem a nervura central, colhidas na fase de maior desenvolvimento vegetativo, ou seja, aproximadamente 120 dias após o plantio (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.6.3 Histologia Foliar da Cana-de-açúcar

Aos 120, 240 e 362 dias após o plantio foram coletadas quatro folhas +1 em cada unidade experimental. Em cada folha, foi retirado um fragmento com aproximadamente 5 cm de comprimento na região mediana de cada folha e em seguida foram fixados em F.A.A.70 (formaldeído 37%, ácido acético e etanol 70% na proporção de 1,0:1,0:18,0 – V/V) por 24 horas, após a fixação foram lavados, armazenados em etanol 70% e encaminhados para o Laboratório de Morfofisiologia Vegetal e Plantas forrageiras do Campus Experimental de Dracena, Estado de São Paulo, até a data das análises.

Os quatro fragmentos foliares por parcela sofreram procedimentos de desidratação, diafanização, inclusão e emblocagem segundo Kraus e Arduim, (1997). Com auxílio de um micrótomo de mesa, foram realizadas secções transversais de 8 µm em cada fragmento foliar emblocado, contendo a nervura central.

Para cada material emblocado, foi realizada a montagem de uma lâmina histológica. Para a montagem da lâmina histológica foi escolhida a primeira secção transversal que apresentou o material mais preservado, ou seja, sem danos ou injúrias provocados pelo corte nos tecidos vegetais.

Todas as secções foram coradas com safranina a 1% e montadas em lâmina e lamínula com adesivo Entellan. As lâminas foram analisadas para as medições dos

parâmetros anatômicos por meio de um programa de análise de imagens, calibrado com régua microscópica no mesmo aumento da objetiva de 20x, segundo metodologia descrita por Pereira et al. (2008).

Em cada lâmina, foi escolhida a região foliar da nervura central. Nessa região, as medições dos parâmetros foram realizadas na primeira nervura que continha metaxilemas, após a nervura central. Para cada lâmina, foram realizadas dez medições em pontos distintos, a fim de se obter uma média para cada parâmetro anatômico. Para os valores médios de cada unidade experimental foram considerados as médias das quatro lâminas, provenientes das quatro folhas coletadas inicialmente.

Foram avaliados os seguintes parâmetros anatômicos: EAB= espessura da epiderme abaxial; EAD= espessura da epiderme adaxial; EM= espessura do mesofilo; DF= diâmetro dos vasos floemáticos e DX= diâmetro dos vasos xilemáticos, conforme ilustrado na Figura 7.

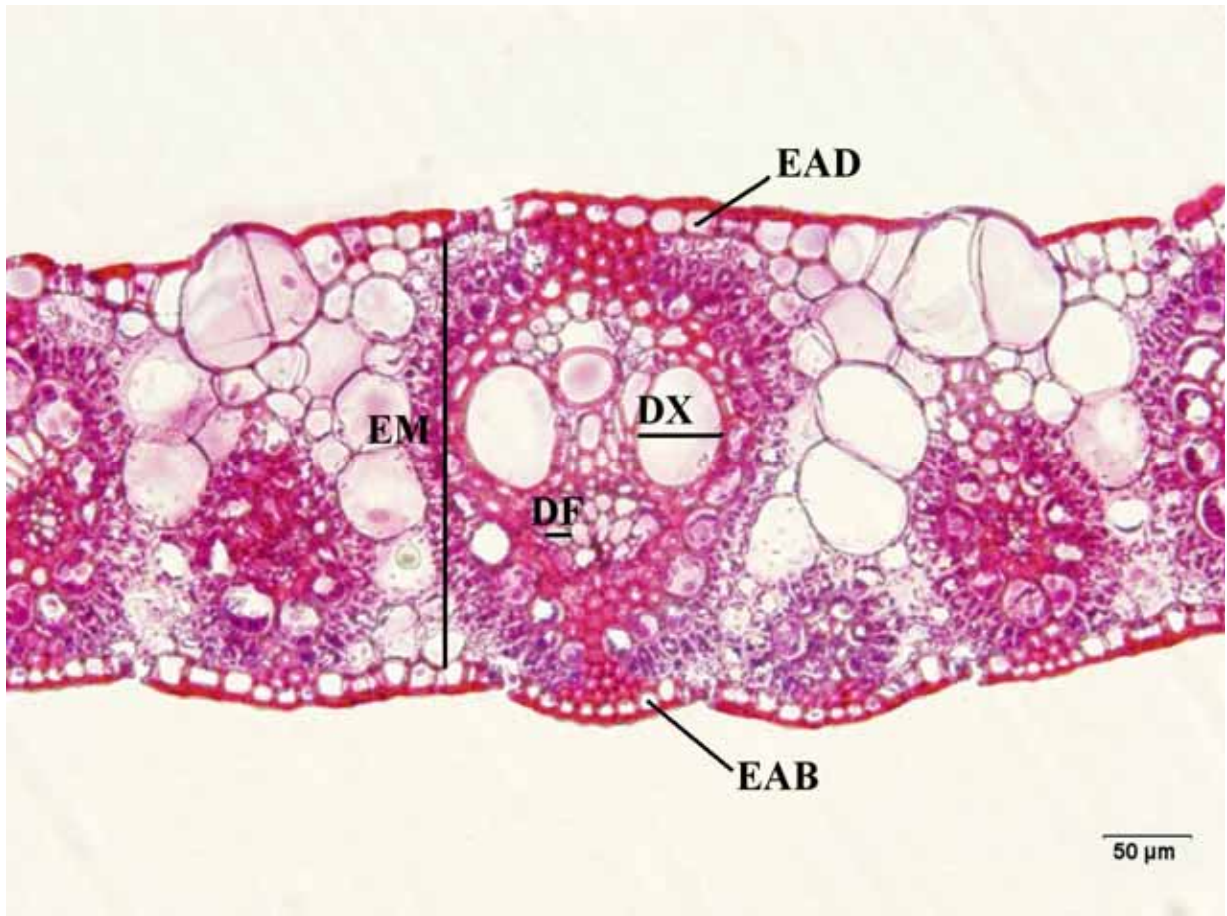


Figura 7- Parâmetros anatômicos mensurados nas folhas de cana-de-açúcar submetidas à fosfatagem de pré-plantio.
Fonte: elaborado pelo autor

3.6.4 Qualidade Tecnológica da Cana-de-açúcar

Por ocasião na colheita, foram retirados ao acaso 12 colmos de cana-de-açúcar em cada unidade experimental, eliminando-se o palmito e palha presentes nos mesmos. Após identificações e pesagens, os feixes foram enviados para laboratório da Usina Santa Mercedes, Estado de São Paulo, para análises das condições tecnológicas através do Método da Prensa, que consiste na prensagem por um minuto a pressão de 250 kg cm² de 500g de cana desintegrada. Serão determinados: (%) Fibra da cana, (%) Brix refratométrico da cana; (%) Pol da cana; (%) Pureza da cana e ATR (kg t⁻¹), após a

obtenção dos valores de ATR será calculado o rendimento de açúcar por hectare (FERNANDES, 2003).

3.6.5 Atributos Químicos do Solo

Por ocasião da colheita foi realizada amostragem de solo nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm para análise química do solo. O solo foi enviado para o Laboratório Pirasolo Laboratório Agrotécnico de Piracicaba, Estado de São Paulo, para análise química do solo após a colheita da cana-de-açúcar. As determinações da composição química do solo foram: P, K, Ca, e Mg utilizando-se o método da resina trocadora de íons, S (SO_4^{-2}) por turbimetria extraído com fosfato de cálcio, pH em CaCl_2 ; matéria orgânica por colorimetria; H + Al com solução tampão SMP; Al em KCl. Em relação aos micronutrientes, o boro foi extraído via água quente e Cu, Fe, Mn e Zn em DTPA TEA pH 7,3 (RAIJ et al., 2001).

3.6.6 Análises Estatísticas

Todos os valores foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), e, suas médias, comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para fontes e doses de fósforo. Todos os procedimentos estatísticos seguiram o método proposto por Pimentel-Gomes (1990). O programa utilizado para a análise foi o Assistat 7.6 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2002). Os resultados que apresentaram significância foram realizados análises de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de Massa Verde de Forragem

A produção de massa verde de forragem (MVF) foi obtida a partir da determinação de massa de forragem total, ou seja, colmos, folhas e pendões por unidade experimental. Posteriormente, os valores foram transformados para produção por hectare.

A produção de massa verde de forragem não apresentou interação entre fontes e doses. No entanto, foi significativa em relação às doses de fósforo em pré-plantio (Tabela 5).

Tabela 5- Produção de massa verde de forragem após a colheita no ano de 2013.

Fonte de P ₂ O ₅				
FD		MAP		
----- MVF t ha ⁻¹ -----				
148,41		142,66		DMS 7,34
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
0	80	120	160	
----- MVF t ha ⁻¹ -----				
135,67b	137,04b	155,78a	153,64a	DMS 13,87**
DP 10,88	CV 6,91			

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

A partir das produções de forragem foram calculados os índices de eficiência agrônoma, que apresentaram os seguintes resultados 17,12 kg MVF por kg de P_2O_5 , 167,58 kg MVF por kg de P_2O_5 e 112,31 kg MVF por kg de P_2O_5 para 80, 120 e 160 kg

de $P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Dessa maneira, observa-se que a dose de 120 de kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentou maior eficiência. Resultados semelhantes foram verificados por Felipe (2008), estudando fontes de adubos, destacando o efeito positivo da adubação sobre a produtividade da cana-planta e cana-soca. Neste estudo, a produtividade da cana-soca foi maior nos tratamentos que receberam adubação mineral, esse resultado pode ser atribuído ao efeito residual da adubação aplicada durante o plantio.

Para Tomaz (2009), avaliando o efeito residual de fontes de fósforo (Salmec, fosfato de Araxá, superfosfato triplo, fosfato de Arad e superfosfato triplo + Salmec) não verificou efeito significativo das fontes de fósforo na produtividade da primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar.

De acordo com o trabalho de Fravet et al. (2010), que avaliou o efeito da aplicação de torta de filtro como fonte de fósforo em cana-soca, observaram a importância da aplicação de fósforo em cana-soca, demonstrando que apenas o fósforo aplicado na ocasião do plantio não foi suficiente para os ciclos posteriores da cultura. Dalri e Cruz (2008) estudando fertirrigação superficial com fósforo em canas no segundo e terceiro ciclo de produção encontrou valores iguais quanto à produção de total de colmos no referido trabalho, que também se assemelha com os valores encontrados por (PASUCH et al., 2012).

4.2 Estado Nutricional da Planta

Na Tabela 6 constam os teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas usadas para diagnose (folha +1), colhidas aos 120 dias após o plantio na fase de maior desenvolvimento vegetativo.

Tabela 6- Teores dos nutrientes foliares na cultura de cana-de-açúcar submetida à fosfatagem de pré-plantio, coletadas aos 120 dias após o plantio no ano de 2013.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fonte de P ₂ O ₅	----- g kg ⁻¹ -----					
FD	19,29	2,26	10,40	3,01	1,80	2,66
MAP	18,94	2,25	10,82	3,12	1,81	2,75
DMS	1,89	0,12	0,50	0,20	0,13	0,20
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)						
0	19,25	2,27	10,52	3,12	1,83	2,97
80	18,90	2,19	10,92	3,13	1,89	2,60
120	19,25	2,22	10,30	3,06	1,79	2,65
160	19,07	2,34	10,71	2,96	1,72	2,61
DP	0,53	0,08	0,39	0,12	0,07	0,17
DMS	1,89	0,23	0,95	0,38	0,24	0,38
CV(%)	7,19	7,44	6,55	9,01	9,86	10,39

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme apresentado na Tabela 6, não houve diferença significativa para nenhuma das características avaliadas. O resultado demonstra que os fatores fontes e doses, assim como a interação entre eles, não influenciaram nos teores foliares de macronutrientes primários e secundários aos 120 dias após o plantio da cana-de-açúcar.

Os teores de nitrogênio estão dentro da faixa considerada adequada para a cana-de-açúcar, ficando na faixa de 19 – 21 g kg⁻¹ segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e na faixa de 18 – 25 g kg⁻¹ de acordo com as recomendações de Raij et al. (1996). Esses resultados confirmam os relatos de Salas et al. (1992) que a cana planta possui baixa resposta a adubação nitrogenada. Segundo Reis Júnior, Monnerat (2002), estudando a relação entre os índices DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated

System) apresentou teores foliares do nutriente N superiores aos encontrados neste experimento. Blum, Melfi e Montes (2012) pesquisaram a nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso, que apresentaram valores inferiores aos encontrados no presente estudo. Segundo Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009), estudando o rendimento de cana-de-açúcar cultivada utilizando lodo de esgoto apresentaram valores superiores. Uma alternativa para elevar o teor de nitrogênio na cana seria a disponibilização do nutriente via adubação nitrogenada, entretanto, Salas et al. (1992) em estudo com doses de 0, 80, 150 e 300 kg ha⁻¹, verificaram que a adubação não propiciou grandes alterações na concentração de N, mas constatou-se que a idade da cana influencia diretamente nos teores de Nitrogênio (DALRI; CRUZ, 2008).

Em relação ao fósforo, pode-se observar que as fontes apresentaram mesma resposta ao tratamento controle. Esperava-se que houvesse efeito das doses de adubação fosfatada na concentração e acúmulo dos outros nutrientes na biomassa da parte aérea da cana-de-açúcar, pois houve o aumento na disponibilidade de fósforo na absorção e no metabolismo vegetal (OLIVEIRA et al., 2007b) entretanto não houve diferença significativa, possivelmente por que a adubação fosfatada no sulco de plantio, foi suficiente para atender a demanda para o primeiro ano. Os teores de fósforo foliares para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) são adequados quando apresentarem valores entre 2,0 – 2,4 g kg⁻¹, e para Raij et al. (1996) os valores devem estar entre 1,5 – 3,0 g kg⁻¹, o teores foliares encontrados estão adequados. Resultados semelhantes foram verificados por Caione (2011), Oliveira et al. (2007b), Santos et al. (2002) e Felipe (2008). Leão, Freire e Miranda (2011) estudaram sorgo submetido a estresse hídrico e com efeitos da adubação fosfatada, verificaram que, com o aumento das doses de fósforo fornecida às plantas, houve um acúmulo de N, P, Ca e S, na parte aérea. No entanto, esse aumento apresentou resposta quadrática somente para o N, Ca e S.

Os teores foliares de potássio, cálcio e magnésio foram considerados adequados para Raij et al. (1996) e para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Esses resultados podem ser explicados, pela calagem e adubação desses nutrientes de modo uniforme em toda a área experimental. Porém, de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira

(1997), somente o tratamento com 80 kg ha⁻¹ de MAP não apresentou deficiência no teor do nutriente na folha. No entanto, segundo Reis Júnior e Monnerat (2002), todos os valores estão abaixo do recomendado, por sua vez são superiores aos valores encontrados por (BLUM; MELFI; MONTES, 2012; MARQUES, 2007).

Bertalli (2011), estudando diagnose nutricional da cana-de-açúcar utilizando o método Composition Diagnoses Nutrition (CND), encontrou valores semelhantes para a concentração de magnésio.

Com relação aos teores de enxofre, todos os tratamentos estão dentro da faixa considerada adequada para Raij et al. (1996), que recomendam valores entre 1,5 – 3,0 g kg⁻¹ e para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) que consideram adequado valores entre 2,5 – 3,0 g kg⁻¹. Porém, são superiores aos valores encontrados por (CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2009).

4.3 Histologia Foliar da Cana-de-açúcar

Na Figura 7 estão evidenciados os seguintes parâmetros anatômicos mensurados: EAB= espessura da epiderme abaxial; EAD= espessura da epiderme adaxial; EM= espessura do mesofilo; DF= diâmetro dos vasos floemáticos e DX= diâmetro dos vasos xilemáticos, obtidos aos 120, 240 e 362 dias após o plantio. Nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentadas as médias histológicas de folhas.

Tabela 7- Médias dos parâmetros anatômicos mensurados, coletados aos 120 dias após o plantio no ano de 2013.

	EAB	EAD	EM	DF	DX
Fonte de P₂O₅	----- μm -----				
FD	13,58	12,15	288,74	8,48	54,04
MAP	14,06	12,61	285,96	8,53	54,34
DMS	1,17	1,07	20,99	0,88	6,04
P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	14,51	12,62	297,33	8,76	54,50
80	13,43	12,29	285,20	8,36	51,04
120	13,11	11,89	301,51	8,86	56,86
160	14,23	12,74	265,35	8,05	54,35
DP	0,68	0,54	15,73	0,36	3,15
DMS	2,22	2,03	39,64	1,67	11,41
CV(%)	11,67	11,91	10,01	14,26	15,28

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico; EAB= espessura da epiderme abaxial; EAD= espessura da epiderme adaxial; EM= espessura do mesofilo; DF= diâmetro dos vasos floemáticos e DX= diâmetro dos vasos xilemáticos.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 8- Médias dos parâmetros anatômicos mensurados, coletados aos 240 dias após o plantio no ano de 2013.

	EAB	EAD	EM	DF	DX
Fonte de P₂O₅	----- μm -----				
FD	15,82	18,14	282,28	12,15	54,96
MAP	15,76	17,60	295,41	12,32	53,38
DMS	1,21	1,12	15,39	1,13	4,79
P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	16,01	18,69	283,41	12,58	57,32
80	15,41	17,22	295,23	11,23	52,62
120	15,42	17,73	290,51	12,15	53,79
160	16,33	17,84	286,22	12,98	52,97
DP	0,67	0,53	10,68	0,77	2,24
DMS	2,29	2,12	29,07	2,14	9,04
CV(%)	10,52	8,61	7,30	12,72	12,11

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico; EAB= espessura da epiderme abaxial; EAD= espessura da epiderme adaxial; EM= espessura do mesofilo; DF= diâmetro dos vasos floemáticos e DX= diâmetro dos vasos xilemáticos.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 9- Médias dos parâmetros anatômicos mensurados, coletados aos 362 dias após o plantio no ano de 2013.

	EAB	EAD	EM	DF	DX
Fonte de P₂O₅	----- μm -----				
FD	12,78	13,95	287,22	10,39	46,78
MAP	12,44	14,75	277,20	10,55	47,35
DMS	1,24	1,79	49,71	0,63	3,69
P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
0	11,54	14,66	315,26	11,26a	43,42b
80	13,80	14,01	268,82	10,81a	54,31a
120	12,60	13,80	308,57	10,81a	43,75b
160	12,51	14,92	236,18	9,01b	46,78b
DP	0,74	1,23	36,13	1,03	5,59
DMS	2,35	3,39	93,91	1,20**	6,97**
CV(%)	13,55	17,15	24,13	8,36	10,74

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico; EAB= espessura da epiderme abaxial; EAD= espessura da epiderme adaxial; EM= espessura do mesofilo; DF= diâmetro dos vasos floemáticos e DX= diâmetro dos vasos xilemáticos.

Fonte: elaborado pelo autor

Não foram encontradas diferenças significativas nas medidas dos tecidos foliares quando coletadas aos 120 e 240 dias após o plantio em função da aplicação dos tratamentos. Joarder et al. (2010) e Ferreira et al. (2007) estudando características anatômicas de folhas de variedades de cana-de-açúcar, obtiveram resultados semelhantes.

Características morfoanatômicas das folhas como espessura das epidermes e espessura do parênquima, podem influenciar diretamente na diminuição na área da superfície, o que contribui para a redução da transpiração e principalmente em fatores fotossintéticos (DIAS et al., 2007).

A espessura de mesofilo encontradas no trabalho, foram superiores aos encontrados por Lisboa et al. (2013) quando estudaram os efeitos nos tecidos foliares de cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas.

Guimarães (2010) estudando as características produtivas e anatômicas de três forrageiras em resposta a fósforo e idade encontrou interação entre os tratamentos e concluiu que o fósforo e a idade da folha proporcionaram o aumento da espessura de esclerênquima e da epiderme. Accorsi (1960) não confirma esses resultados, estudando a goiabeira, relatou que, com o aumento da espessura das epidermes ocorre uma diminuição da espessura do mesofilo.

Folhas que apresentam tecidos mais espessos exibem maior eficiência no uso de água e no desenvolvimento do seu metabolismo (BOEGER; WISNIEWSKI, 2002), tornando o vegetal mais tolerante ao estresse hídrico, luminoso, propiciando melhor desenvolvimento do material vegetal. Para espessura mensuradas das epidermes os valores são semelhantes aos encontrados por Ferreira et al. (2007), que estudaram cinco cultivares de cana-de-açúcar. Castro et al. (2009) relatam a importância da espessura das células epidérmicas por desempenharem o papel de proteção devido sua posição na histologia do vegetal, revestindo seus órgãos, protegendo de ações adversas do meio.

Para a característica diâmetro dos vasos floemáticos (DF) e diâmetro dos vasos xilemáticos nas folhas de cana-de-açúcar coletadas aos 362 dias após o plantio foi significativo nas doses testadas. A dose com 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a que apresentou valores médios menores para a característica diâmetro dos vasos floemáticos, mostrando que o número de vasos pode ter influenciado no diâmetro. Para os valores médios de diâmetro dos vasos xilemáticos o tratamento com 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi que apresentou melhores resultados.

Esse resultado pode ser explicado devido à mobilidade do fósforo no interior da planta que ocorre pelo floema. Esse elemento é translocado para os tecidos mais jovens por meio da absorção radicular ou mesmo pela migração dos órgãos mais velhos para as regiões dos meristemas. Devido à síntese de ATP e proteína grande quantidade de fósforo e o enxofre são utilizados em outras regiões e principalmente em

regiões responsáveis por armazenamento de substâncias metabolizadas comprovadas por Mengel e Kirkby (1982). As médias encontradas de diâmetro dos vasos floemáticos (DF) são semelhantes aos encontrados por Lisboa et al. (2013) que ficaram em torno de 9 μm .

Dillewijn (1952) estudou variedades de cana-de-açúcar, e encontrou valores superiores de metaxilema. O autor também relata que o xilema é formado por um círculo notável contendo aproximadamente entre 10 a 12 vasos de metaxilema, e este número aumenta com o espessamento e envelhecimento da folha. Os valores médios de diâmetro dos vasos xilemáticos foram superiores aos encontrados por Lisboa et al. (2013) que apresentaram médias de 29 μm . As características observadas confirmam as descrições de alterações positivas nos diâmetros dos vasos floemáticos, que podem influenciar diretamente no transporte de nutrientes e compostos orgânicos e indiretamente na fotossíntese, consequentemente no crescimento e desenvolvimento dos órgãos vegetais (CASTRO; KLUGE, 2001).

4.4 Qualidade Tecnológica da Cana-de-açúcar

Na Tabela 10 estão descritos os valores médios de Fibra, Brix, POL, Pureza e ATR que compõem a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar após a colheita. Para todas parâmetros avaliados não foi encontrada significância entre as médias dos tratamentos.

Os valores de % de Fibra encontrados no presente estudo estão dentro da faixa recomendada por Ripoli e Ripoli (2004) (Tabela 10). Entretanto os valores encontrados por Dalri e Cruz (2008) que estudaram a produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e potássio via gotejamento superficial, e também para Viana et al. (2008) que estudaram os efeitos da aplicação de maturadores químicos na cultura de cana-de-açúcar.

Os valores médios de brix estão acima dos encontrados por Viana et al. (2008), mas são semelhantes aos valores relatados por Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009) que

estudaram o rendimento de cana-de-açúcar cultivada em Argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo.

Segundo Ripoli e Ripoli (2004) os valores da POL da cana devem estar acima dos 14%. No presente estudo, os valores médios da POL estão dentro das faixas adequadas para a cultura. No entanto, esses valores são inferiores aos relatados por Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009).

Os valores médios da pureza estão adequados para Ripoli e Ripoli (2004), pois citam que esses valores devem estar acima de 85%. Os valores estão abaixo dos encontrados por Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009), o que aconteceu também para açúcar total recuperável (ATR).

Para os valores médios de ATR $t\ ha^{-1}$, não foi encontrado significância nas fontes testadas, porém, para as doses testadas foram significativas (Tabela 10). Doses acima de 120 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$ mostraram melhores médias, mas são inferiores das médias encontradas por Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009) e semelhantes de (FELIPE, 2008).

Tabela 10- Valores médios da análise tecnológica da cana-de-açúcar no ano de 2013.

	Fibra (%cana)	Brix (%cana)	POL (%cana)	Pureza (%caldo)	ATR (kg t ⁻¹)	ATR (t ha ⁻¹)
Fonte de P₂O₅						
FD	13,10	20,56	14,88	87,14	148,33	17,60
MAP	13,47	20,70	14,89	87,13	148,35	16,94
DMS	0,91	0,41	0,40	0,99	3,81	1,02
P₂O₅ (kg ha⁻¹)						
0	13,13	20,75	15,04	87,35	149,84	16,24b
80	13,73	20,42	14,58	86,89	145,43	15,95b
120	13,25	20,73	14,93	86,90	148,80	18,55a
160	13,03	20,62	14,99	87,39	149,29	18,34a
DP	0,55	0,19	0,25	0,53	2,48	2,35
DMS	1,73	0,78	0,76	1,87	7,23	1,94**
CV(%)	9,35	2,73	3,67	1,56	3,50	8,15

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico; ATR – Açúcar total recuperável.

Fonte: elaborado pelo autor

4.5 Atributos Químicos do Solo

4.5.1 Análise dos macronutrientes e demais indicadores das condições químicas do solo

Nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 são apresentados os valores médios da análise química do solo das amostras coletadas nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm por ocasião da colheita.

Para os valores médios de pH do solo, foi significativa somente a diferença entre fontes na profundidade de 0 – 20 cm o que não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm (Tabelas 11 e 13). O fosfato decantado foi o que apresentou médias superiores. Em comparação com o pH encontrado na análise de solo na ocasião na instalação do experimento, os valores não foram alterados depois da aplicação dos tratamentos, conforme demonstrado na Tabela 1 e na Figura 8. Os valores encontrados de pH no solo, estão dentro daqueles preconizados por Rajj et al. (1996) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), que consideram como média as faixas entre 5,0 e 6,0. A redução do pH no solo ocorreu provavelmente, devido a presença do nitrogênio na forma amoniacal do MAP, que na sua oxidação, libera H^+ para o meio (HEINRICHS et al. 2012).

Tabela 11- Valores médios de pH, Matéria Orgânica, Fósforo, Potássio e Cálcio na profundidade de 0 - 20 cm, após a colheita no ano de 2013.

	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
Fontes de P ₂ O ₅	0	80	120	160	Média
pH (CaCl ₂)					
FD	5,50	5,45	5,55	5,70	5,55a
MAP	5,50	5,32	5,40	5,37	5,40b
Média	5,50	5,38	5,47	5,53	
CV: 2,92		DMSDoses: 0,22		DMSFontes: 0,11*	
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)					
FD	15,50	13,75	15,25	13,00	14,12
MAP	15,50	13,50	13,50	15,50	14,50
Média	15,50	13,62	13,87	14,25	
CV: 11,24		DMSDoses: 2,24		DMSFontes: 1,18	
Fósforo (mg dm ⁻³)					
FD	5,75	12,50	15,75	15,25	12,31
MAP	5,75	12,00	16,50	13,50	11,93
Média	5,75c	12,25b	16,12a	14,37ab	
CV: 19,78		DMSDoses: 3,34**		DMSFontes: 1,76	
Potássio (mmol _c dm ⁻³)					
FD	0,90aA	0,85bA	0,90aA	0,90aA	0,88b
MAP	0,90aB	1,10aA	0,95aB	0,95aB	0,97a
Média	0,90	0,97	0,92	0,92	
CV: 6,47		DMSDoses: 0,08		DMSFontes: 0,04**	
		DMSInteração: 0,08**		DMSInteração: 0,11**	
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)					
FD	16,00	13,75	16,00	15,75	15,37
MAP	16,00	12,75	16,25	16,00	15,25
Média	16,00a	13,25b	16,12a	15,87a	
CV: 8,36		DMSDoses: 1,78**		DMSFontes: 0,94	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico; CTC - capacidade de troca de cátions; S. – Saturação.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 12- Valores médios de Magnésio, H + Al, Soma de Bases, CTC, V% e Enxofre na profundidade de 0 - 20 cm, após a colheita no ano de 2013.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					
Fontes de P ₂ O ₅	0	80	120	160	Média
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)					
FD	5,75aA	5,00aAB	4,75bB	4,75bB	5,00b
MAP	5,75aA	4,50aB	5,50aA	6,00aA	5,43a
Média	5,75a	4,75b	5,12ab	5,37ab	
CV: 8,89		DMSDoses: 0,64**		DMSFontes: 0,34*	
		DMSInteração: 0,68**		DMSInteração: 0,91**	
H + Al (mmol _c dm ⁻³)					
FD	12,25	12,00	11,75	11,75	11,93
MAP	12,25	12,00	12,25	12,00	12,12
Média	12,25	12,00	12,00	11,87	
CV: 5,99		DMSDoses: 1,00		DMSFontes: 0,52	
Soma de Bases (mmol _c dm ⁻³)					
FD	22,75	19,75	23,00	21,50	21,75
MAP	22,75	18,25	24,00	23,00	22,00
Média	22,75a	19,00b	23,50a	22,25a	
CV: 6,86		DMSDoses: 2,09**		DMSFontes: 1,10	
CTC (mmol _c dm ⁻³)					
FD	35,00aA	31,75aB	33,50bAB	33,25aAB	33,37a
MAP	35,00aA	30,25aB	36,25aA	35,00aA	34,12a
Média	35,00a	31,00b	34,87a	34,12a	
CV: 4,25		DMSDoses: 2,00**		DMSFontes: 1,05	
		DMSInteração: 2,11*		DMSInteração: 2,82*	
V%					
FD	65,00	61,75	67,00	64,50	64,56a
MAP	65,00	60,50	64,75	64,75	63,75a
Média	65,00a	61,12b	65,87a	64,62a	
CV: 3,53		DMSDoses: 3,15**		DMSFontes: 1,66	
Enxofre (mg dm ⁻³)					
FD	9,75	11,00	9,00	7,50	9,31
MAP	9,75	9,50	9,50	8,50	9,31
Média	9,75a	10,25a	9,25ab	8,00b	
CV: 13,23		DMSDoses: 1,71		DMSFontes: 0,90	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico; CTC - capacidade de troca de cátions; S. – Saturação.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 13- Valores médios de pH, Matéria Orgânica, Fósforo, Potássio e Cálcio na profundidade de 20 - 40 cm, após a colheita no ano de 2013.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					
Fontes de P ₂ O ₅	0	80	120	160	Média
pH (CaCl ₂)					
FD	5,75	5,47	5,62	5,57	5,60
MAP	5,75	5,72	5,55	5,67	5,67
Média	5,75	5,60	5,58	5,62	
CV: 2,44		DMSDoses: 0,19		DMSFontes: 0,10	
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)					
FD	11,00	13,25	12,75	11,50	12,12
MAP	11,00	12,75	11,75	14,25	12,43
Média	11,00	13,00	12,25	12,87	
CV: 14,86		DMSDoses: 2,54		DMSFontes: 1,34	
Fósforo (mg dm ⁻³)					
FD	5,75	5,25	6,50	6,25	5,93b
MAP	5,75	7,00	8,00	12,25	8,25a
Média	5,75b	6,12b	7,25ab	9,25a	
CV: 30,28		DMSDoses: 2,99*		DMSFontes: 1,57**	
Potássio (mmol _c dm ⁻³)					
FD	0,75	0,65	0,70	0,62	0,68b
MAP	0,75	0,80	0,80	0,72	0,76a
Média	0,75	0,72	0,75	0,67	
CV: 15,42		DMSDoses: 0,15		DMSFontes: 0,08*	
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)					
FD	16,00	15,25	16,75	15,50	15,87
MAP	16,00	14,50	16,00	14,50	15,25
Média	16,00	14,87	16,37	15,00	
CV: 12,33		DMSDoses: 2,67		DMSFontes: 1,41	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico; CTC - capacidade de troca de cátions; S. – Saturação.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 14- Valores médios de Magnésio, H + Al, Soma de Bases, CTC, V% e Enxofre na profundidade de 20 - 40 cm, após a colheita no ano de 2013.

Fontes de P ₂ O ₅	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Média
	0	80	120	160	
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)					
FD	5,50	5,50	5,00	5,00	5,25
MAP	5,50	5,75	5,25	5,00	5,37
Média	5,50	5,62	5,12	5,00	
CV: 8,89		DMSDoses: 1,04		DMSFontes: 0,55	
H + Al (mmol _c dm ⁻³)					
FD	11,50aA	12,00aA	11,25bA	11,25aA	11,50
MAP	11,50aAB	11,00bB	12,00aA	11,50aAB	11,50
Média	11,50	11,50	11,62	11,37	
CV: 3,80		DMSDoses: 0,60		DMSFontes: 0,32	
		DMSInteração colunas: 0,64**		DMSInteração linhas: 0,86**	
Soma de Bases (mmol _c dm ⁻³)					
FD	22,50	21,75	22,75	21,50	22,12
MAP	22,50	21,25	22,25	20,50	21,62
Média	22,50	21,50	22,50	21,00	
CV: 11,31		DMSDoses: 3,44		DMSFontes: 1,81	
CTC (mmol _c dm ⁻³)					
FD	34,00	33,75	34,00	32,75	33,62
MAP	34,00	32,25	34,25	33,50	33,50
Média	34,00	33,00	34,12	33,12	
CV: 5,73		DMSDoses: 2,00**		DMSFontes: 1,05	
V%					
FD	65,50	63,75	64,50	65,00	64,68
MAP	65,50	65,25	64,75	63,25	64,68
Média	65,50	64,50	64,62	64,12	
CV: 4,03		DMSDoses: 3,62		DMSFontes: 1,91	
Enxofre (mg dm ⁻³)					
FD	10,50	9,50	8,00	9,50	9,37
MAP	10,50	11,25	11,00	8,50	10,31
Média	10,50	10,37	9,50	9,00	
CV: 18,06		DMSDoses: 2,47		DMSFontes: 1,30	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico; CTC - capacidade de troca de cátions; S. – Saturação.

Fonte: elaborado pelo autor

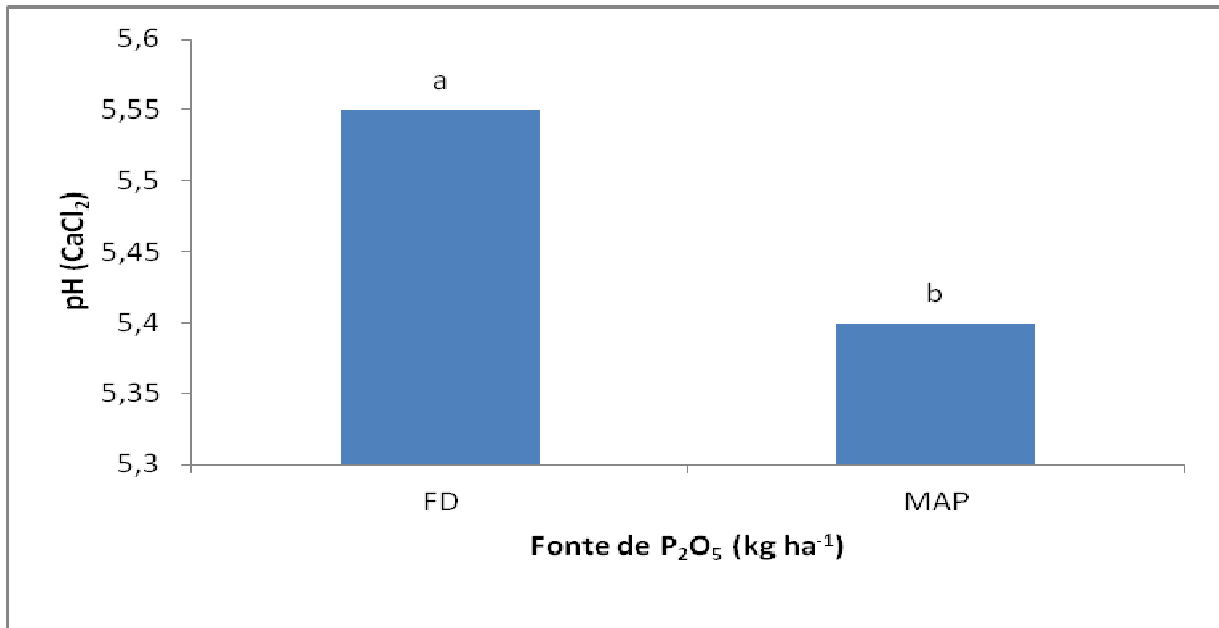


Figura 8- Valores de pH no solo a 0 – 20 cm de profundidade. FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

Foi observado que os valores médios de matéria orgânica nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm os resultados não foram significativos, mostrando que os fatores fontes e doses de fósforo não interferiram na sua concentração. Para Raij et al. (1996) os valores encontrados estão abaixo dos $15\ g\ dm^{-3}$ recomendado.

As fontes de P_2O_5 não influenciaram significativamente nos teores de fósforo no solo na profundidade de 0 – 20 cm, mas é possível observar na Tabela 11 e na Figura 9 o efeito significativo nos teores de fósforo com as doses testadas. As doses de 120 e $160\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 mostraram os teores maiores de fósforo no solo.

Na Figura 10, estão apresentados os teores de fósforo no solo na profundidade de 20 – 40 cm, onde observa-se uma interação entre fontes e doses de fósforo, destacando a fonte MAP que apresentou maiores teores do nutriente (Tabela 13). Por ocasião da instalação do experimento os valores do fósforo no solo estavam entre $2 - 3\ mg\ dm^{-3}$, após um ano na ocasião da colheita as concentrações chegaram entre $8 - 16\ mg\ dm^{-3}$, esses valores segundo Raij et al. (1996) mostraram que o solo passou a ser classificado de baixa para média concentração de fósforo disponível, mostrando a

eficiência das fontes e doses testadas, por apresentarem valores entre 13 – 30 mg dm⁻³, para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) o solo passou a ser classificado de alto ou adequado por apresentarem valores acima de 10 mg dm⁻³.

Os teores de fósforo encontrados no solo são semelhantes a Flores et al. (2012) que estudaram doses crescentes de potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua, mas para Marques et al. (2007) estudaram a qualidade e produtividade de cana adubadas com lodo de esgoto, encontraram valores superiores. Comparando com Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009), estudando materiais de mesma origem apresentaram valores inferiores do presente estudo.

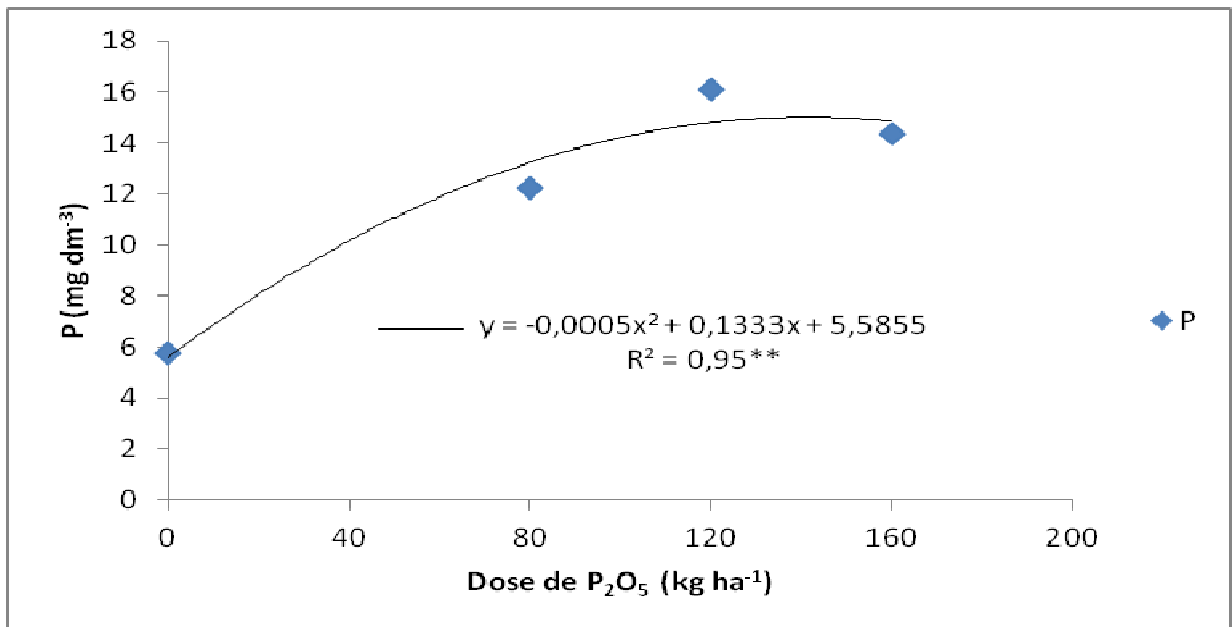


Figura 9- Valores de fósforo no solo a 0 – 20 cm de profundidade. FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

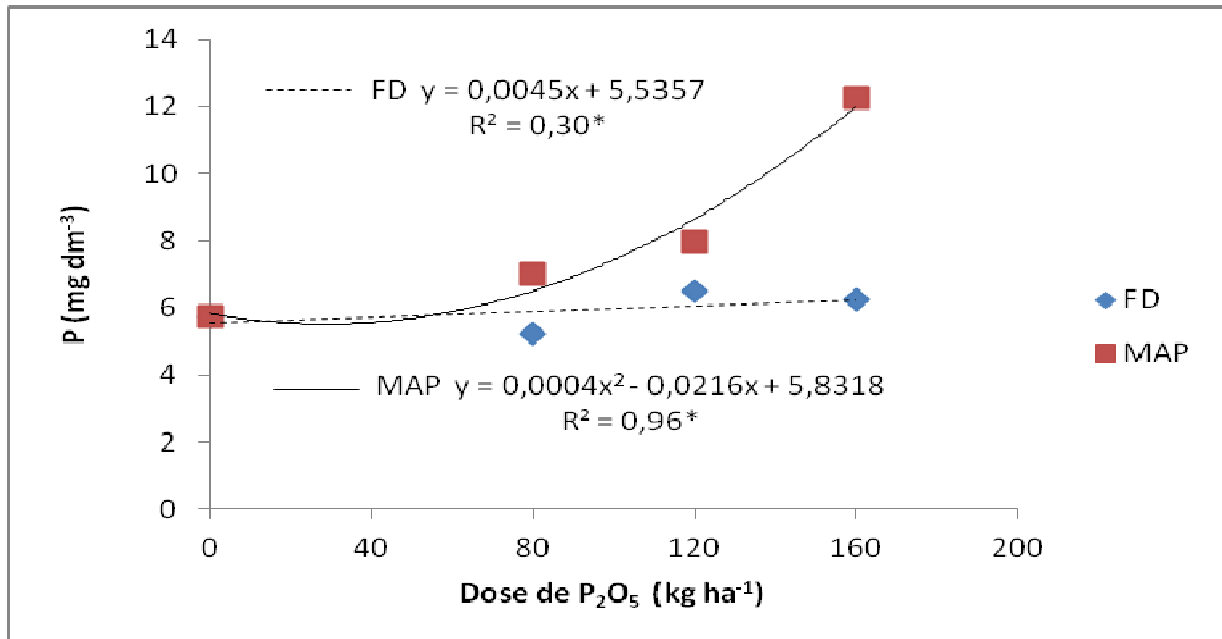


Figura 10- Valores de fósforo no solo a 20 – 40 cm de profundidade. FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 11, está apresentada a interação significativa dos teores médios significativos de potássio encontrado no solo na profundidade de 0 – 20 cm. O MAP mostrou maiores médias na profundidade analisada, o que não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm (Tabela 13). Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) os teores encontrados são considerados média quantidade por estarem entre 1 – 2 mmol_c dm⁻³, porém para Raij et al. (1996) os teores são considerados baixos no solo estudado por estarem entre 0,8 – 1,5 mmol_c dm⁻³. Os teores encontrados são inferiores a Blum et al. (2012) estudando nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso.

Os teores médios de cálcio no solo estão apresentados nas Tabelas 13 e 11. Na profundidade de 0 – 20 cm foram encontrados efeito significativo apenas nas doses testadas, apenas a dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou valores inferiores, porém, esse resultado não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm. Para Raij et al. (1996) esses valores são considerados altos por estarem acima de 7 mmol_c dm⁻³ do

recomendado, mas para Malavolta et al. (1997) os teores de cálcio no solo são classificados como médio por apresentar valores entre 15 – 40 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Houve uma interação significativa entre as fontes e doses testadas nos teores de magnésio na profundidade de 0 – 20 cm (Tabela 12 e Figura 11), o que não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm (Tabela 14). Segundo Raij et al. (1996) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) os teores de magnésio são considerados médios por apresentar valores entre 5 – 8 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, e 5 – 10 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ respectivamente. Os teores encontrados são superiores quando comparados com Blum et al. (2012) e iguais aos encontrados por Prado, Fernandes e Natale (2003) estudando o efeito residual da escória de siderúrgica como corretivo de acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar.

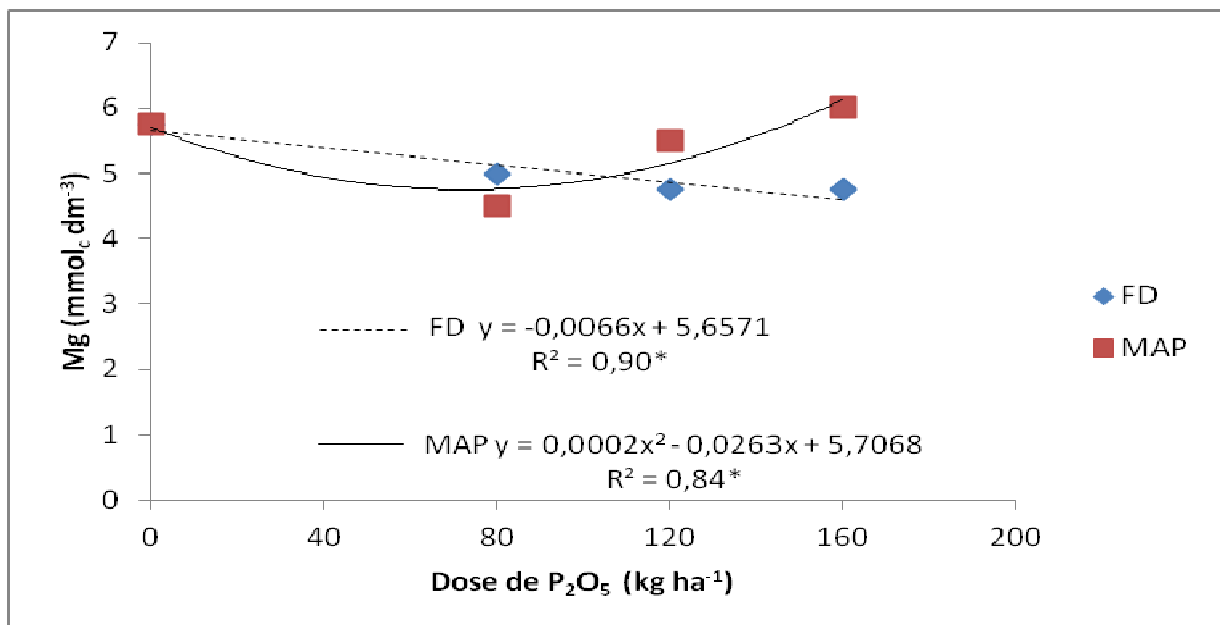


Figura 11- Valores de magnésio no solo a 0 – 20 cm de profundidade. FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

É possível observar na Tabela 14 o efeito significativo dos teores de hidrogênio mais alumínio que na profundidade de 20 – 40 cm, esses efeitos não foram encontrados na profundidade de 0 – 20 cm (Tabela 12), esses valores são semelhantes aos encontrados por (MARQUES et al., 2007).

Os valores médios da soma de bases no solo na profundidade 0 – 20 cm estão demonstradas na Tabela 12, mostrando que a dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou menores médias, porém, na profundidade de 20 – 40 cm não foi encontrado os mesmos efeitos (Tabela 14). Mostraram os valores médios, inferiores para Prado, Fernandes e Natale (2003) e Marques et al. (2007), e superiores aos valores encontrados por (FLORES et al., 2012).

Na Tabela 12 está apresentada a interação dos efeitos dos fatores fonte com doses de fósforo para a capacidade de troca de cátions (CTC) na profundidade de 0 – 20 cm. Os tratamentos com fosfato decantado (FD) e MAP na dose 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentaram os menores valores de CTC, o que não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm (Tabela 14). Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) a CTC encontrada é considera média por estarem na faixa entre 30 – 50 mmol_c dm⁻³. Os valores da CTC do solo no presente estudo, são inferiores dos encontrados por (BARROS et al., 2010; MARQUES et al., 2007).

Na Tabela 12 encontra-se o efeito das dosagens de fósforo na saturação de bases do solo. A dosagem com 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ mostrou menores médias, esse resultado não foi encontrado na profundidade de 20 – 40 cm (Tabela 14). Segundo Raij et al. (1996) é considerada uma acidez na faixa média por estarem entre 51 – 70 mmol_c dm⁻³, porém para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) a saturação de bases (V%) estão altos ou adequados por se enquadrarem entre 50 – 70 mmol_c dm⁻³. Todos os valores médios encontrados estão abaixo dos encontrados por Barros et al. (2010) e acima para (BLUM et al., 2012).

Os teores de enxofre no solo na profundidade de 0 – 20 cm apresentaram um efeito significativo somente para as doses (Tabela 12 e Figura 12), o que não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm (Tabela 14). O valor médio do tratamento de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do fosfato decantado foi o que mais propiciou o aumento do enxofre no solo. No entanto, é necessário considerar que todos os valores estão dentro da mesma faixa de interpretação (Raij et al. 1996). Os teores de enxofre no solo, são considerados de médio para alto segundo Raij et al. (1996) por estarem entre 5 – 10 mmol_c dm⁻³ e

algumas médias acima de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. As condições adequadas de enxofre no solo podem ser atribuídas à aplicação de gesso por ocasião do preparo do solo.

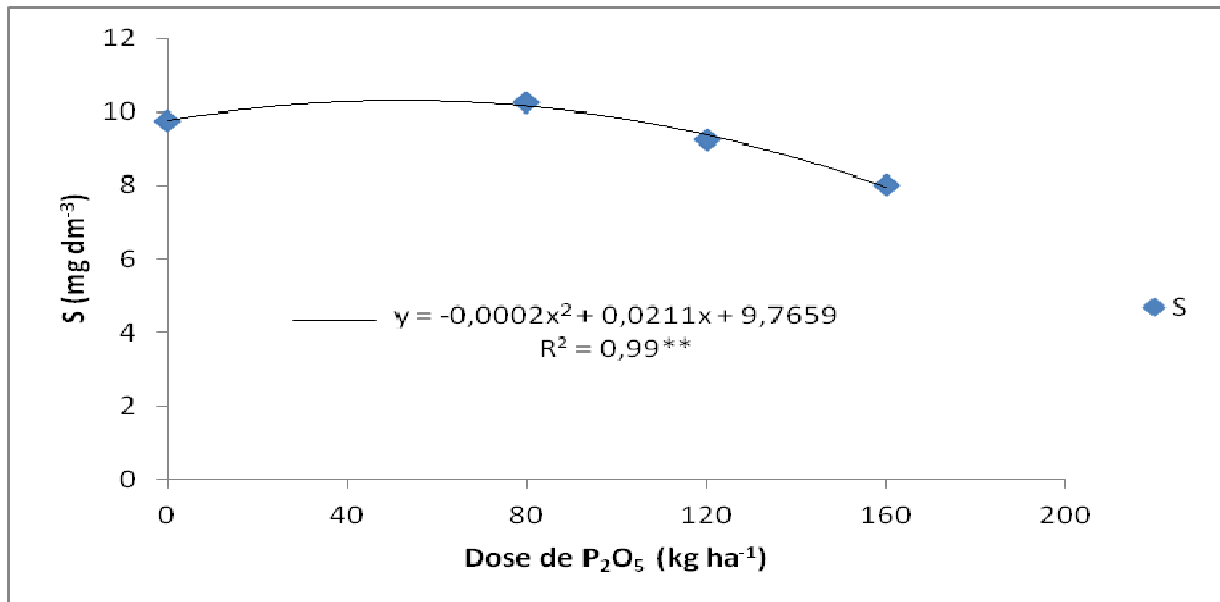


Figura 12- Valores de enxofre no solo a 0 – 20 cm de profundidade. FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

4.5.2 Análise dos micronutrientes no solo

Por, foi realizada a amostragem de solo para análise química do solo. Nas Tabelas 15 e 15 são apresentados os valores médios de Cobre, Ferro, Zinco Manganês e Boro, amostrado nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm por ocasião da colheita.

Tabela 15- Valores médios de Cobre, Ferro, Zinco Manganês e Boro na profundidade de 0 - 20 cm, após a colheita no ano de 2013.

Fontes de P ₂ O ₅	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Média
	0	80	120	160	
Cobre (mg dm ⁻³)					
FD	0,55aA	0,57aA	0,57bA	0,54aA	0,55b
MAP	0,55aB	0,56aB	0,78aA	0,58aB	0,61a
Média	0,55b	0,56b	0,67a	0,56b	
CV: 9,13	DMSDoses: 0,07**		DMSFontes: 0,03**		
		DMSInteraçãocolunas: 0,07**		DMSInteraçãolinhas: 0,10**	
Ferro (mg dm ⁻³)					
FD	15,90aAB	19,39aA	14,65aAB	12,66aB	15,65
MAP	15,90aA	13,45bA	15,06aA	14,22aA	14,65
Média	15,90	16,42	14,85	13,44	
CV: 16,26	DMSDoses: 3,43		DMSFontes: 1,81		
		DMSInteraçãocolunas: 3,62*		DMSInteraçãolinhas: 4,85*	
Zinco (mg dm ⁻³)					
FD	0,82aA	0,62aAB	0,52bB	0,63bAB	0,65
MAP	0,82aA	0,41bB	0,74aA	0,81aA	0,69
Média	0,82a	0,51c	0,63bc	0,72ab	
CV: 17,42	DMSDoses: 0,16**		DMSFontes: 0,08		
		DMSInteraçãocolunas: 0,17**		DMSInteraçãolinhas: 0,23**	
Manganês (mg dm ⁻³)					
FD	6,76aA	9,51aA	7,18bA	6,99aA	7,61
MAP	6,76aB	6,53bB	11,25aA	7,36aB	7,97
Média	6,76b	8,02ab	9,21a	7,17ab	
CV: 21,37	DMSDoses: 2,32*		DMSFontes: 1,22		
		DMSInteraçãocolunas: 2,44**		DMSInteraçãolinhas: 3,28**	
Boro (mg dm ⁻³)					
FD	0,35	0,31	0,30	0,33	0,32
MAP	0,35	0,35	0,36	0,42	0,37
Média	0,35	0,33	0,33	0,37	
CV: 22,12	DMSDoses: 0,10		DMSFontes: 0,05		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 16- Valores médios de Cobre, Ferro, Zinco Manganês e Boro na profundidade de 20 - 40 cm, após a colheita no ano de 2013.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					
Fontes de P ₂ O ₅	0	80	120	160	Média
Cobre (mg dm ⁻³)					
FD	0,65	0,59	0,60	0,56	0,60
MAP	0,65	0,61	0,81	0,56	0,65
Média	0,65ab	0,60ab	0,70a	0,56b	
CV: 13,82	DMSDoses: 0,12		DMSFontes: 0,06		
Ferro (mg dm ⁻³)					
FD	14,18aA	15,78aA	11,92aA	10,54bA	13,10
MAP	14,18aAB	11,46bB	11,38aB	18,05aA	13,76
Média	14,18	13,62	11,65	14,29	
CV: 20,75	DMSDoses: 3,88		DMSFontes: 2,05		
		DMSInteração colunas : 4,10**		DMSInteração linhas : 5,49**	
Zinco (mg dm ⁻³)					
FD	0,59aAB	0,45aB	0,68aA	0,45aB	0,54
MAP	0,59aA	0,36aB	0,52bA	0,51aA	0,49
Média	0,59a	0,41b	0,60a	0,48b	
CV: 13,97	DMSDoses: 0,10**		DMSFontes: 0,05		
		DMSInteração colunas : 0,10*		DMSInteração linhas : 0,14*	
Manganês (mg dm ⁻³)					
FD	6,78	7,61	6,13	6,59	6,77
MAP	6,78	5,05	8,96	6,42	6,80
Média	6,78	6,33	7,54	6,50	
CV: 29,51	DMSDoses: 2,79		DMSFontes: 1,47		
Boro (mg dm ⁻³)					
FD	0,30	0,24	0,22	0,30	0,26
MAP	0,30	0,18	0,29	0,28	0,26
Média	0,30a	0,21b	0,26ab	0,29a	
CV: 19,81	DMSDoses: 0,07*		DMSFontes: 0,03		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05).

DP – Desvio padrão; DMS - Diferença Mínima Significativa; CV – Coeficiente de Variação; FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

Os teores de cobre no solo na profundidade de 0 – 20 cm apresentaram interação significativa entre as fontes e doses de fósforo (Tabela 15). No entanto, na profundidade de 20 – 40 cm somente a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou maiores valores médios desse elemento (Tabela 16). É importante destacar que a fonte MAP apresentou valores médios superiores na profundidade de 0 – 20 cm, podendo ser

atribuído a presença do nitrogênio amoniacal na fonte MAP, pois conforme destacado anteriormente, ocorreu redução do pH do solo nesses tratamentos (HEINRICHS et al. 2012), aumenta a disponibilidade de micronutrientes catiônicos (MORO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2007b). Segundo Raij et al. (1996) esses teores no solo estão nas faixas de médio para alto por serem classificados entre 0,3 – 0,8 mg dm⁻³, porém para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) os teores são considerados altos ou adequados por serem acima de 10 mg dm⁻³. O tratamento com MAP na dose 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi o que apresentou maiores teores de cobre, esses resultados são muito inferiores aos encontrados por Barros et al. (2010) e Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2009), mas apresenta valores semelhantes por (BLUM et al., 2012).

Os valores médios da concentração de ferro encontrados no solo nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm estão apresentados nas Tabelas 15 e 16, respectivamente. Os resultados apresentaram uma interação entre as fontes e dose de fósforo, é possível observar que os teores do micronutriente nas profundidades 0 – 20 cm e 20 – 40 cm apresentaram valores entre 10 – 20 mg dm⁻³ (Figura 13 e 14). O tratamento com fosfato decantado na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi o que apresentou maiores valores médios na profundidade de 0 – 20 cm, porém, na profundidade de 20 – 40 cm com a fonte MAP e doses de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ mostraram maiores valores médios de ferro, esse resultado também pode ser atribuído a redução do pH do solo com a utilização do MAP na adubação.

Segundo Raij et al. (1996) essas concentrações são consideradas altas por apresentar algumas médias acima de 12 mg dm⁻³, porém, para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) os teores são considerados baixos para esse elemento, por estarem em níveis inferiores a de 20 mg dm⁻³. Essas concentrações solo foram inferiores aos encontrados por (BARROS et al., 2010; BLUM et al., 2012).

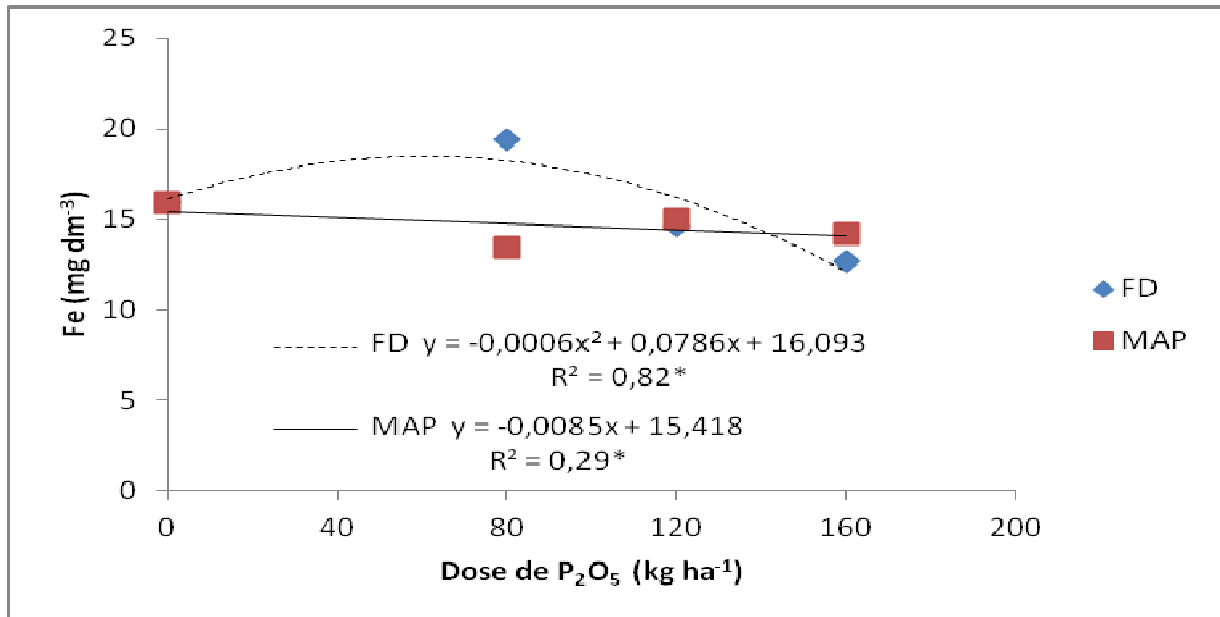


Figura 13- Valores de ferro no solo a 0 – 20 cm de profundidade. 2013. FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

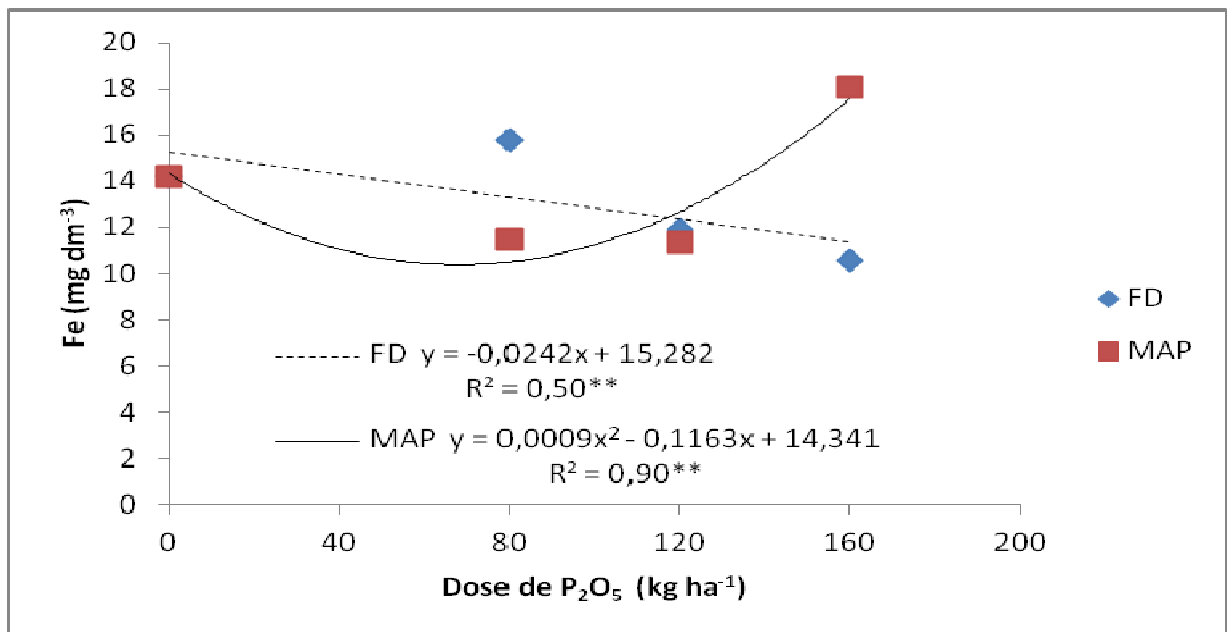


Figura 14- Valores de ferro no solo a 20 – 40 cm de profundidade. 2013. FD – Fosfato decantado; MAP – Fosfato monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

Nas Tabelas 15 e 16 estão apresentadas as interações significativas para os teores de zinco no solo nas profundidades 0 – 20 (Figura 15) e 20 – 40 cm. As médias obtidas no referido estudo estão abaixo dos valores encontrados por Chiba, Mattiazzi e Oliveira (2009), Barros et al. (2010) e Blum et al. (2012), mas esses valores segundo Raij et al. (1996) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) os teores de zinco estão na faixa de média disponibilidade, por serem estarem entre 0,6 – 1,2 mg dm⁻³ e 5 – 1,0 mg dm⁻³ respectivamente.

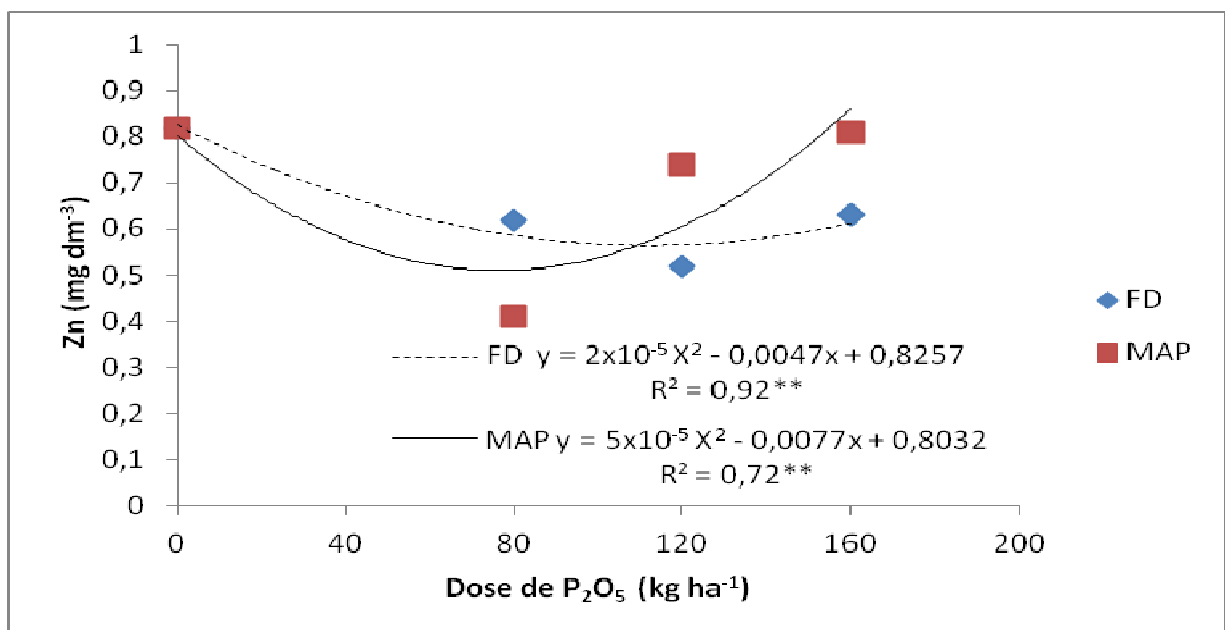


Figura 15- Valores de zinco no solo a 0 – 20 cm de profundidade. FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.

Fonte: elaborado pelo autor

Os valores médios dos teores do micronutriente manganês no solo, na profundidade de 0 – 20 cm, estão apresentados na Tabela 15, é possível observar uma interação entre as fontes e doses de fósforo, o que não ocorreu na profundidade de 20 – 40 cm (Tabela 16). No tratamento com MAP na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi encontrado os maiores valores desse micronutriente, segundo Raij et al. (1996) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) esses valores estão na faixa de alta ou adequada, por mostrarem valores acima de 5 mg dm⁻³. Os teores desse micronutriente estão acima

das médias encontradas por Barros et al. (2010) e Blum et al. (2012), porém semelhantes aos encontrados por (CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2009).

Os teores do micronutriente boro estão apresentados na Tabela 15 e 16. O fator fonte não influenciou as concentrações desse elemento no solo, mas o fator dose de P_2O_5 na profundidade de 20 – 40 cm, influenciaram significativamente as médias, com os menores valores na dose de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 16). Segundo Raij et al. (1996) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) esses teores são considerados médios para solos do Oeste Paulista, por apresentarem valores entre $0,21 - 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,1 - 0,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Os valores são semelhantes aos verificados por Blum et al. (2012) quando estudaram a nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso.

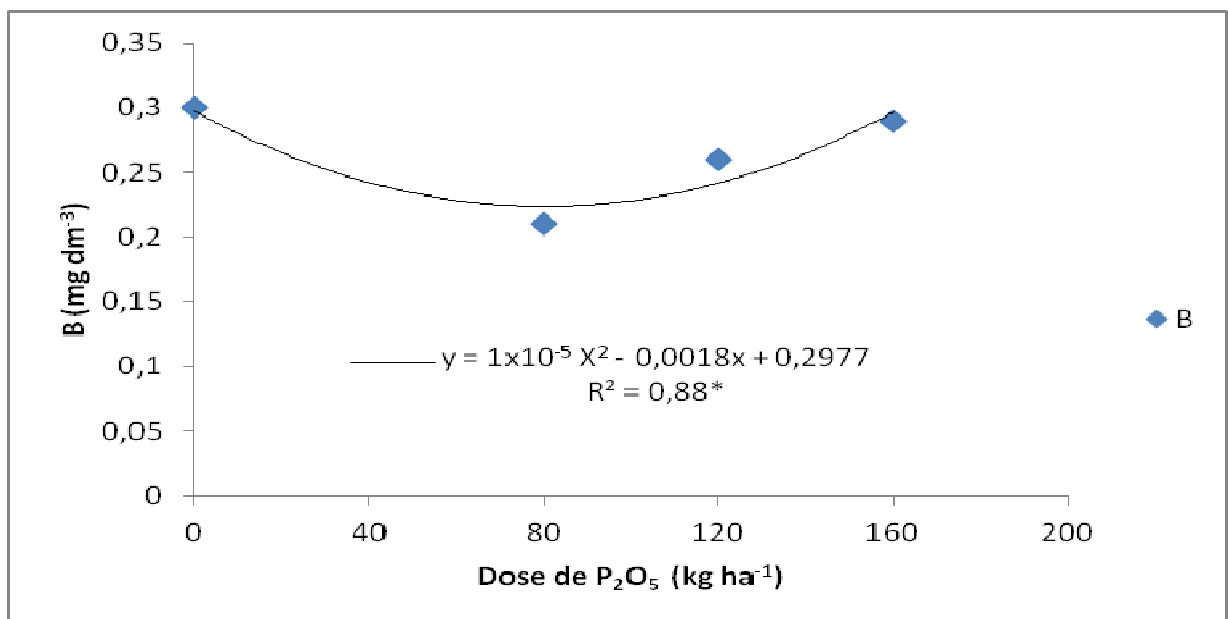


Figura 16- Valores de boro no solo a 20 – 40 cm de profundidade. 2013. FD – Fósforo decantado; MAP – Fósforo monoamônico.
Fonte: elaborado pelo autor

5 CONCLUSÕES

A adubação fosfatada em pré-plantio apresentou resposta positiva para produção de massa verde de forragem, independentemente das fontes utilizadas. As melhores respostas foram alcançadas em doses a partir de 120 Kg de P_2O_5 ha⁻¹.

O estado nutricional da planta não foi influenciado pelas fontes e doses de fósforo.

Houve influência das doses de fósforo no desenvolvimento dos vasos condutores foliares da cana-de-açúcar por ocasião da colheita.

Doses acima de 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹ aumentam o ATR t ha⁻¹ da cana-de-açúcar, o que não ocorreu com %Fibra, %Brix, %POL, %Pureza e ATR kg t⁻¹.

As fontes e doses testadas de fósforo aumentaram a disponibilidade de fósforo no solo.

A fonte fosfato monoamônico reduziu o pH do solo e aumentou a disponibilidade de cobre na profundidade de 0 – 20 cm e ferro na profundidade de 20 – 40 cm.

REFERÊNCIAS

- ACCORSI, W. R.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. A. C. B. Sintomas externos (morfológicos) e internos (anatômicos), observados em folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), de plantas cultivadas em solução nutritiva com carência dos macronutrientes. **Anais Escola Superior Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 17, p. 3-13, 1960.
- ARAÚJO, L. C. A.; GONÇALVES, D. A. R.; ARANTES JÚNIOR, J.; CARVALHO FILHO, A. Avaliação das características fisiológicas de variedades de cana-de-açúcar em rotação com soja e amendoim. In: VII JORNADA CIENTÍFICA DA FAZU,, 2009, Uberaba. **Anais...** Uberaba: [s.n.], 2009. p.74 – 82.
- BERTALLI, J. G. **Diagnose nutricional da cana-de-açúcar**. 2011. 24 f. Dissertação (Mestrado) – Unidade Universitária de Aquidauana, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2011.
- BARROS, R. P., VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARETO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346, jul./set. 2010.
- BLUM, J.; MELFI, A.J .; MONTES, C. R. Nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 593-602, 2012.
- BOEGER, M. R.; WISNIEWSKI, C. **Estrutura e teores de nutrientes foliares de seis espécies arbóreas ao longo de um gradiente sucessional da planície litorânea do estado do Paraná, Brasil**. Iheringia: [s.n.], 2002. p. 243-262. (Série Botânica)
- CAIONE, G. LANGE, BENETT, C. G. S; FERNANDES, F. M. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.
- CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; SANTIAGO, A. D.; ARISTIDES, E. V. S. Production of biomass, from sugar and protein

in function of sugarcane varieties and phosphorous fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 809-818, 2012.

CARVALHO, G. J.; ANDRADE, L. A. B.; EVANGELISTA, A. R.; OLIVEIRA, P. S. R. Avaliação do potencial forrageiro de cinco variedades de cana-de-açúcar (ciclo de ano) em diferentes estádios de desenvolvimento. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 14, p. 16-23, 1993.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009, 234 p.

CASTRO, P. R. C. Efeitos da luminosidade e da temperatura na fotossíntese e produção e acúmulo de sacarose e amido na cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**. Piracicaba, v. 20, n. 5, p. 32-33, 2002.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de culturas extrativistas**: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendenzeiro e oliveira. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. v. 1, p.13-45.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Rendimento de cana-de-açúcar cultivada em Argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 495-501, 2009.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University, 1981. 1262 p.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrônômica**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DIAS, J.; PIMENTA, J. A.; MEDRI, M. E.; BOEGER, M. R. T.; FREITAS, C. T. Physiological aspects of sun and shade leaves of *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology** v. 50 n. 1 p. 91-99, 2007.

DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. **Chronica Botanica**, New York Stechert-Hafner, 1952, v. 1, 371p.

DILLON, S. L. Domestication to crop improvement: genetic resources for *Sorghum* and *Saccharum* (Andropogoneae), **Annals of Botany**, v. 100, p. 975-989, 2007.

DURU, M.; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive leaves on a Cocksfoot tiller. Ontogenic development and effect of temperature. **Annals of Botany**, v. 85, n. 5, p. 635-643, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006. 306 p.

ESTADO DE MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. In: PEREIRA, Nívio Tadeu Lasmar (Rel.). **Parecer único**: protocolo Nº 25544/2009. Licenciamento Ambiental Nº. 00042/1978/026/2008. SUPRAM – TM e AP, p. 1-16, 15 dez. 2008.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: Stab, 2003. 240 p.

FERREIRA, E.A.; VENTRELLA, M.C.; SANTOS, J.B.; BARBOSA, M.H.P.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; SILVA, E.A.M.. Leaf blade quantitative anatomy of sugarcane cultivars and clones. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 25-34, 2007.

Flores, R. A.; PRADO, R. M.; POLITI, L. S.; ALMEIDA, T. B. F. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 106-111, 2012.

FRAVET, P. B. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a

produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3 p. 618-624, 2010.

FREITAS, A. W. P.; PEREIRA, J. C.; ROCHA, F. C.; COSTA, M. G.; LEONEL, F. P.; RIBEIRO, M. D. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 229-236, 2006a.

FREITAS, A. W. P.; PEREIRA, J. C.; ROCHA, F. C.; COSTA, M. G.; LEONEL, F. P.; RIBEIRO, M. D. Avaliação da qualidade nutricional da silagem de cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 38-47, 2006b.

GUIMARÃES, A. K. V. **Características produtivas e anátomo-qualitativas de três forrageiras em resposta a fósforo e idade**. 2010. 147 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

HEINRICHS, R.; FILHO, C. V. S.; CROCIOLLI, C. A.; FIGUEIREDO, P. A. M.; FRUCHI, V. M.; KODEL, F. J.; RODRIGUES, T. A. Doses and sources of nitrogen fertilizer and their effects on soil chemical properties and forage yield of *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. **Semina. Ciências Agrárias** Londrina, v. 33, n. 5, p. 1745-1754, 2012.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: a review. **Plant Soil, Dordrecht**, Viala, v. 237, n. 2, p. 173-195, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Estatística da produção agrícola**. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201203.pdf>. Acesso em: 10 out. 2012.

JOARDER, N.; ROY, A. K.; SIMA, S. N.; PARVIN, K. Leaf blade and midrib anatomy of two sugarcane cultivars of Bangladesh. **Journal Of Bio-science**, Bangladesh, v. 18, p. 66-73, 2010.

KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais e sua influencia MP fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 111-119, 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada, T., Abdalla, S. R. S (Ed.). In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 291-305.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural- EDUR, 1997. 198 p.

LANARV. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília: Ministério da Agricultura/Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1983. 104 p.

LEÃO, D. A. S.; FREIRE, A. L. O; MIRANDA, J. R. P. Estado nutricional de sorgo cultivado sob estresse hídrico e adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 74-79, 2011.

LISBOA, L. A. M.; RAMOS, S. B.; VIANA, R. S.; HEINRICHS, R.; SEGATI, D. F.; FIGUEIREDO, P. A. M. Modificações morfoanatômicas foliares da cana-de-açúcar em função de estratégias de aplicação de herbicidas. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 31, n. 3, p. 33-36, 2013.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 44, n 12 p. 1575-1582, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; MARQUES, T. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 111-122, 2007.

MEDEIROS, L. T., PINTO, J. C.; CASTRO, E. M.; REZENDE, A. V.; LIMA, C. A. Nitrogênio e as características anatômicas, bromatológicas e agronômicas de cultivares de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 35, n. 3, p. 598-605, 2011.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 2.ed. Berne: International Potash Institute, 1982. 59 p.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; Heitor CANTARELLA, H.; NASCENTE, A. S.; MORO, A. L.; BROETTO, F. Acidez do solo afetando concentração de micronutrientes, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade em plantas de arroz de terras altas. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 34, n. 6, p. 3397-3410, 2013.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.. **Fertilidade do solo**. Viçosa, 2007. 1017 p.

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

OLIVEIRA, A. S.; CAMPOS, J. M. S.; VALADARES FILHO, S. C.; ASSIS, A. J.; TEIXEIRA, R. M. A; VALADARES, R. F. D.; PINA, D. S.; OLIVEIRA, OLIVEIRA, G. S. Substituição do milho por casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: consumo, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília v. 36, p. 1172-1182, 2007a.

OLIVEIRA JUNIOR, J. A. **Adubos fosfatados como fonte de metais pesados: efeito na composição do solo e do arroz**. 2001. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia Nuclear Na Agricultura, Departamento de Centro de Energia Nuclear Na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007b.

OLIVEIRA, S.B.; CAIONE, G.; CAMARGO, M.F.; OLIVEIRA, A.N.B.; SANTANA, L. Fontes de fósforo no estabelecimento e produtividade de forrageiras na região de Alta Floresta – MT, **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 5, n. 1, p. 01-10, 2012.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de- açúcar no Brasil**. Rio de Janeiro: IAA/Planalsucar, 1983.

PASUCH, B. D.; CAIONE, G.; ROFRIGUES, M.; DRESCHER, A. H.; FERNANDES, F. M. Desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica da primeira soqueira da cana-de-açúcar em função de fontes de fósforo. **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 4, n. 3, p. 263-270, 2012.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 43, n. 12, p. 1649-1656, 2008.

PIMENTEL, G. F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1990. 182 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Eficiência da escória de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, n. 4, p. 36-39, abr. 2000. Bimestral.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Piracicaba, v. 27, n. 1p. 237-296, 2003.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 285.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100)

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

REIS JÚNIOR, R. A. MONNERAT, P. H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **Revista brasileira ciência do solo**, Viçosa, v. 26, p. 367-372, 2002.

PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR- RIDESA. **Melhoramento genético**: fases de obtenção dos cultivares, 2013. Disponível em: <<http://www.ridesa.agro.ufg.br/pages/38084>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

ROCHA NETO, A. I.; VELOSO, C. M.; SILVA, F. F.; SOUZA, D. R.; COSTA, L. T.; MURTA, R. M.; SILVA, R. R.; SILVA, J. C. P. M.; SOUZA, D. D.; MENESES, M. A. Comportamento ingestivo de vacas em lactação alimentadas com cana-de-açúcar ou feno da parte aérea da mandioca. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 64, n. 6, p. 1629-1638, jul. 2012.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colonião. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1101-1110, 1999.

RUIZ, M. **Proálcool e seu desenvolvimento**. 2006. Disponível em: <<http://www.sociedadedigital.com.br/artigo.php?artigo=180>>. Acesso em: 16 maio 2013.

SALAS, M. et al. Effect of variety, stage of maturity and nitrate fertilization on nutritive value of sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 265-277, 1992.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ, V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para

gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 173-182, 2002.

SANTOS, V. R. ; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V. da; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p. 71-78, 2002.

SILVA JÚNIOR, J. M.; CASTRO, E. M.; ROFRIGUES, M.; PASQUAL, M.; BERTOLUCCI, S. K. V. Variações anatômicas de *Laelia purpurata* var. cárnea cultivada *in vitro* sob diferentes intensidades e qualidade spectral de luz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 3, p. 480-486, mar, 2012.

SOUZA, R. F.; LEANDRO, W. M.; SILVA, N. B.; CUNHA, P. C. R.; XIMENES, P. A. Diagnose nutricional pelos métodos dris e faixas de concentração para algodoeiro cultivado sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 220-228, 2011.

TOMAZ, H. V. de Q. **Fontes, doses e formas de aplicações do fósforo na cana-de-açúcar**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

TUFFI SANTOS, L. D.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; MEIRA, R. M. S. A.; TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, F. A.; MELO, C. A. D.; SILVA, E. F. S. Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Planta daninha**, Viçosa, v. 26 n.1, p. 9-16, 2008.

VIANA, R. S.; SILVA, P. H.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; GUIMARÃES, E. R.; BENTO, M. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potatós, 2002. 16 p. (Informações agronômicas).

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: SIMPÓSIO FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafos- ANDA, 2003. 726p.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fósforo, 2004. p. 290-306.