GLEBER RODRIGO MANCIN

**Manejo de modos e fontes de fósforo na produção e qualidade da cana planta
(*Saccharum spp.*)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências do programa de pós-graduação em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz

Pirassununga

2018

Nome: GLEBER RODRIGO MANCIN

Título: **Manejo de modos e fontes de fósforo na produção e qualidade da cana planta (*Saccharum spp.*)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências do programa de pós-graduação em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz Instituição: FZEA – USP Pirassununga

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. André César Vitti Instituição: APTA /Centro Sul

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Casimiro Dias Gadanha Junior Instituição: ESALQ/USP - Piracicaba

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Valdo Rodrigues Herling Instituição: FZEA – USP Pirassununga

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

À minha esposa Edilene, que sempre presente, foi fundamental para apoiar e superar as dificuldades deste período.

Aos meus filhos Giovanna e Enzo, que dispuseram de trocar seus tempos com papai, para me dedicar à pesquisa e estudo.

Aos meus grandes e verdadeiros amigos Marcelo e Flávia, que mesmo não estando juntos muito tempo devido à distância, mas sempre presentes quando necessário, transmitiu-me muita força espiritual para a chegada até aqui.

Ao meu pai (in memorium), que sempre foi meu grande incentivador para todos meus estudos e projetos.

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pela graça concedida em todos os dias de minha vida, e pelos milagres apresentados a mim e minha família.

Ao meu orientador e amigo **Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz**, pela aceitação de orientação, pela sua inspiração profissional e entendimento de minhas necessidades, me enriquecendo a cada dia com sua grande experiência profissional e inúmeros conhecimentos, contribuindo desta forma ao meu crescimento científico e intelectual ao longo do curso, pela amizade e pela compreensão nos momentos de erro.

Ao **Prof. Dr. César Gonçalves de Lima**, pela amizade, pelos valiosos ensinamentos e colaboração nas análises estatísticas envolvidas neste projeto.

Ao amigo **Paulo Toneti**, pelos auxílios na condução do projeto, estando sempre de prontidão à nossas necessidades.

À doutoranda **Jéssica Bet**, me auxiliando fortemente na retomada aos estudos, passando os modos e diretrizes de como chegar até o pretendido, desde o início do projeto, tirando todas as dúvidas possíveis.

À **FZEA-USP** pela oportunidade.

À **CAPES** pela concessão da bolsa de estudo.

À **Abengoa Bionergia Brasil**, unidade de São João da Boa Vista, pela disponibilização da área, das equipes de campo e laboratórios, além das estruturas para realização do experimento.

EPÍGRAFE

**O coração do homem pode fazer planos, mas a resposta certa
dos lábios vem de DEUS.
O coração do homem traça o seu caminho, mas DEUS lhe
dirige os passos.**

Provérbios, 16:1 e 16:9

RESUMO

MANCIN, G.R.. **Manejo de modos e fontes de fósforo na produção e qualidade da cana planta (*saccharum spp.*)**, 2018. 85f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Sendo a cana-de-açúcar uma das culturas mais importantes hoje no contexto de agroindústria, sua expansão cresce de acordo com o aumento de consumo de açúcar e etanol no Brasil e no mundo. Muitas vezes, estas expansões são realizadas em área de baixa fertilidade e/ou degradadas, tendo pouca disponibilidade de fósforo. De maneira geral, os solos no Brasil apresentam baixos teores de fósforo. A cultura da cana-de-açúcar considerada semi perene, a aplicação principal de fósforo é realizada na reforma ou implantação do canavial, como fosfatagem e/ou localizado dentro do sulco do plantio. O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, em que as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. Com a mecanização da colheita, a produtividade passou a andar na contramão da pesquisa, reduzindo a produtividade dos canaviais mesmo com altos potenciais genéticos e técnicas avançadas para o cultivo da cana-de-açúcar. Foram surgindo novas fontes de fósforo (P) como opção para utilização na cana-de-açúcar. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar qual a melhor forma de aplicação de fósforo no plantio da cana-de-açúcar e o melhor resultado em diferentes fontes de fósforo, auxiliando assim em expansões na instalação do canavial em áreas com baixo teor de fósforo (P). Utilizando a variedade CTC 4, conduzimos em São João da Boa Vista/SP, o trabalho de pesquisa com 25 tratamentos, divididos em parcelas e sub parcelas, sendo as parcelas aplicação de 150 kg de P_2O_5 de fosfatagem em área total: Controle; MAP; FAPs P28; Super Triplo; Termofosfato; e as sub parcelas adubação de 150 kg de P_2O_5 no sulco: Controle, FAPs P28 100%; FAPs P28 50% + MAP 50%; FAPs P28 25% + MAP 75%; MAP 100%;. As aplicações das parcelas foram realizadas antes do preparo do solo e as aplicações das sub parcelas na sulcação do plantio. Foram realizadas avaliações de perfilhos, retirado amostra de folhas e

solo aos 284 dias após plantio e na colheita , aos 13 meses após plantio, avaliando perfilho, peso de colmo, produtividade, e qualidade tecnológica. Verificou-se que o Termofosfato Magnesiano em área total obteve melhores resultados para fertilidade do solo em todos os elementos na análise de solo, análise foliar e para produtividade. Para a qualidade tecnológica, não houve diferenciação dos tipos e formas de aplicação de adubação com fósforo. Para implantação do canavial (cana planta) é essencial a aplicação de fertilizante fosfatado.

Palavras-chave: plantio, fosfatagem, fósforo no sulco, produtividade.

ABSTRACT

MANCIN, G.R.. **Management of modes and sources of phosphorus in the production and quality of cane plant (*saccharum spp.*)**, 2018. 85f. Dissertation (Master degree) - Faculty of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Pirassununga, 2018.

Since sugarcane is one of the most important crops present by in the context of agribusiness, its expansion grows according to the increase of consumption of sugar and ethanol in Brazil and in the world. Often, these expansions are executed in an area of low fertility and / or degraded, having less availability of phosphorus. In general, soils in Brazil have low levels of phosphorus. On sugarcane crops, considered semi-perennial, the main application of phosphorus is executed in the reforestation or implantation of the sugarcane, as phosphatic and / or located within the furrow's plantation. Phosphorus is crucial in plant's metabolism, where the limitations on the availability of P at the beginning of the vegetative cycle can result limitation in the development, from which the plant does not recover later, even increasing the P supply at appropriate levels. With the harvest's mechanization, the productivity started to move against the research, reducing the productivity of sugarcane's plantations even with high genetic potential and advanced for sugarcane's plantation. New sources of phosphorus (P) have been as an option for use in sugarcane. In this sense, the objective of this work was to evaluate the best way of applying phosphorus in sugarcane plantation and the best result in different sources of phosphorus, then helping in the expansion of sugarcane's plantation in areas with low phosphorus content (P). Using the CTC 4 variety, we conducted the research work with 25 treatments, divided into plots and subplots, in the plots of 150 kg of P_2O_5 in total area: Control, MAP; FAPs P28; Super Triple; Thermophosphate; and the sub plots fertilization of 150 kg of P_2O_5 in the furrow: Control, FAPs P28 100%; FAPs P28 50% + MAP 50%; FAPs P28 25% + MAP 75%; 100% MAP . The plots applications were executed before the soil preparation and the subplot's application in the furrow. Tiller evaluations were performed, leaves and soil samples were collected at 284 days after plantation and harvest, 13 months after the plantation, evaluating tiller, stem weight, productivity, and technological quality. It was verified that the Magnesian Thermophosphate in total area obtained better results for

soil fertility in all the elements in the soil analysis, leaf analysis and for productivity. For the technological quality, there was no differentiation of the types and forms of application of fertilization with phosphorus. For implantation of the sugarcane (cane plant) is essential the application of phosphate fertilizer.

Key words: plantation, phosphating, phosphorus in the furrow, productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Média de produtividade de cana-de-açúcar, comparando com a introdução da colheita mecanizada no Brasil	18
Figura 2. Localização da área experimental I.....	37
Figura 3. Precipitação pluviométrica mensal na região do experimento	38
Figura 4. Balanço hídrico de São João da Boa Vista (período de condução do experimento)	38
Figura 5. Plantio manual de cana-de-açúcar	39
Figura 6 e 7. Variedade CTC 4 de cana-de-açúcar	39
Figura 8. Disposição dos tratamentos no campo	41
Figura 9. Realização de fosfatagem em área total	44
Figura 10. Sulcação para plantio e adubação de fósforo nos sulcos	45
Figuras 11 a 14. Colheita e montagem das amostragens	46
Figuras 15 e 16. Colheita de folhas para análise foliar	47
Figura 17. Canas no laboratório para análises tecnológicas	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado de análise química de solo de caracterização da área	43
Tabela 2. Resultado de análise física de solo da área de experimento	43
Tabela 3. Análise de variância para os atributos químicos do solo coletado aos 292 dias após tratamentos	51
Tabela 4. Quadro de médias para os atributos químicos do solo coletado 292 dias após aplicação dos tratamentos de fosfatagem	51
Tabela 5. Análise de variância para diagnóstico foliar coletado aos 284 dias após plantio nas parcelas de fosfatagem e sub parcelas de adubação no sulco	53
Tabela 6. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (sulco) em cada área das parcelas (fosfatagem)	54
Tabela 7. Desdobramento das sub parcelas do fósforo (P) presente nas folhas	54
Tabela 8. Desdobramento das sub parcelas do potássio (K) presente nas folhas ...	55
Tabela 9. Desdobramento das sub parcelas do cálcio (Ca) presente nas folhas.....	56
Tabela 10. Desdobramento das sub parcelas do magnésio (Mg) presente nas folhas	56
Tabela 11. Desdobramento das sub parcelas do enxofre (S) presente nas folhas	56
Tabela 12. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco)	57
Tabela 13. Desdobramento das parcelas do fósforo (P) presente nas folhas	58
Tabela 14. Desdobramento das parcelas do potássio (K) presente nas folhas.....	58
Tabela 15. Desdobramento das parcelas do cálcio (Ca) presente nas folhas	59
Tabela 16. Desdobramento das parcelas do magnésio (Mg) presente nas folhas...	60
Tabela 17. Desdobramento das parcelas do enxofre (S) presente nas folhas	60
Tabela 18. Interpretação estatística para o número de perfilhos aos 5 e 13 meses após o plantio	61
Tabela 19. Análise de variância das sub parcelas em perfilhos aos 5 meses após o plantio	62
Tabela 20. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco) no número de colmos	62
Tabela 21. Desdobramento das parcelas do número de perfilhos aos 13 meses após plantio (colheita)	63
Tabela 22. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (adubação em sulco)	

em cada em cada parcela (fosfatagem) no número de colmos	63
Tabela 23. Desdobramento das sub parcelas do número de colmos aos 13 meses após plantio (colheita)	64
Tabela 24. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco) no peso de colmos	64
Tabela 25. Desdobramento da Fosfatagem em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco) para o peso dos colmos	65
Tabela 26. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (adubação em sulco) em cada em cada parcela (fosfatagem) no peso de colmos	65
Tabela 27. Desdobramento das sub parcelas (adubação no sulco) em cada uma das fosfatagens para o peso dos colmos	66
Tabela 28. Análise de variância para os dados de produtividade média obtidos	66
Tabela 29. Desdobramento das fosfatagens em área total	67
Tabela 30. Média produtividade nas parcelas (fosfatagens)	68
Tabela 31. Produtividade média das fosfatagens (parcelas) em cada sub parcela.	69
Tabela 32. Desdobramento das aplicações de adubações no sulco	69
Tabela 33. Desdobramento das sub parcelas (adubação no sulco) em relação a cada fosfatagem	70
Tabela 34. Análise de variância para qualidade tecnológica da cana-de-açúcar nas parcelas de fosfatagem e sub parcelas de adubação no sulco	71
Tabela 35. Valores de resultados tecnológicos para fosfatagem (parcelas).....	71
Tabela 36. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco)	72
Tabela 37. Desdobramento das sub parcelas em cada parcela para a fibra da cana-de-açúcar	72
Tabela 38. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (adubação no sulco) em cada uma das parcelas (fosfatagem)	73
Tabela 39. Desdobramento da parcelas em cada sup parcela para a fibra da cana-de-açúcar	73
Tabela 40. Quantidade de açúcar produzida por há nos tratamentos de fosfatagens	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVO	21
3. HIPÓTESES	21
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4.1 Cana-de-açúcar, fisiologia e variedade	22
4.2 Fontes de fósforo	27
4.3 Manejo de fósforo em cana-de-açúcar: produção e qualidade	31
5. MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1 Características da área experimental e condições climáticas	37
5.2 Tratamentos, delineamento experimental e atributos do solo	40
5.3 Aplicação dos Tratamentos e Amostragem	42
5.4 Avaliações de campo	45
5.5 Avaliações em laboratório – solo e foliar	46
5.6 Avaliações tecnológicas	47
5.7 Análises estatísticas	49
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
6.1 Atributos químicos do solo	50
6.2 Análise foliar	53
6.3 Produtividade	60
6.4 Qualidade tecnológica	70
7. CONCLUSÃO	75

8. REFERÊNCIAS	76
----------------------	----

1. INTRODUÇÃO

O potencial de produção e o papel fundamental da cana-de-açúcar e de seus subprodutos tanto na agricultura quanto na indústria, fazem dessa cultura uma das mais importantes atividades da agroindústria nacional, sendo o Brasil maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A relevância da cultura no agronegócio brasileiro é indiscutível e apesar do Brasil destacar-se no cenário internacional por toda sua tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a indústria (COSTA, 2005). A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2015/16 foi de 665.586.200 toneladas, com uma produtividade média de 76,909 ton há⁻¹ (CONAB, 2016). Como resultado desta produção agrícola e processamento industrial da cana-de-açúcar obtêm-se açúcar, etanol, levedura e energia elétrica. Tais produtos são utilizados nas mais diversas áreas, das quais se destacam o setor alimentício, farmacêutico, ração animal, concessionárias de energia elétrica e combustíveis.

Hoje, mais do que nunca, pode-se constatar a importância desta cultura para o crescimento econômico brasileiro, da qual se aproveita absolutamente tudo. A cana-de-açúcar, de origem totalmente renovável, gera açúcar, etanol anidro (aditivo para a gasolina), etanol hidratado (combustível) além de possibilitar a geração de energia elétrica através da queima do bagaço, e a produção de plástico biodegradável a partir do açúcar, o PHB (polihidroxibutirato) (SOUZA et al., 2005). Além disso a cana-de-açúcar passou a ser considerada, recentemente, uma commodity, valorizada pela capacidade que tem de gerar energia limpa e renovável e de substituir parte da matriz energética global, atualmente centrada na utilização de combustíveis hidrocarbonetos de origem fóssil (FARIAS et al., 2009).

A cana ocupa papel de destaque no cenário econômico e social, principalmente na geração de divisas, na expansão de novas fronteiras agrícolas e na utilização intensiva de mão de obra direta e indireta (LEITE et al., 2008). O setor sucroalcooleiro é parte importante do agronegócio brasileiro, além de ser referência para os demais países produtores (MAPA, 2007).

A essencialidade e a importância do fósforo para a produtividade da cana-de-açúcar são assuntos conhecidos desde as primeiras pesquisas com a cultura, como reiteram Agirre Junior et al. (1939), com suas pesquisas no IAC, São Paulo, e

Strauss (1949), com pesquisas em Pernambuco. No Nordeste, naquela época o autor afirmava que a aplicação de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 era econômica em 61% dos casos. Pouco mais tarde, em 1958, analisando 38 experimentos fatoriais, Gomes e Cardoso indicaram para o Nordeste 100 kg ha^{-1} P_2O_5 como a dose mais econômica para a cana-de-açúcar. Em São Paulo, os primeiros estudos de adubação de cana de que se tem relatado, foram feitos pelo IAC e já demonstraram que o fósforo era responsável pelos maiores aumentos de produtividade (ROSSETO, R. et al., 2008).

De maneira geral, os solos no Brasil apresentam baixos teores de fósforo, e tratando-se de um macronutriente, em todas as regiões ele é aplicado. A cultura da cana-de-açúcar é considerada semi perene e após ser colhida ela brota novamente, ou seja, tem-se a cana planta (primeiro corte) e cana soca (2º, 3º e demais cortes), portanto, a aplicação principal é realizada na reforma ou implantação do canavial, em área total, conhecido como fosfatagem e/ou localizado dentro do sulco do plantio, em que se coloca a muda de cana para brotar. Na fosfatagem é comum a utilização de fontes de fósforo parcialmente solúvel e dentro do sulco a forma é solúvel, na forma prontamente disponível para a planta absorver. (PENATTI, C.P., 2013).

O que percebemos no dia a dia do campo, e de acordo com a publicação do site NovaCana, mesmo com o elevado nível de mecanização no Brasil, a colheita da cana-de-açúcar ainda apresenta uma série de gargalos e desafios tecnológicos. Os equipamentos utilizados nos canaviais não atendem às necessidades do campo e não cumprem os requisitos para um manejo eficiente. A questão não é exatamente novidade para quem trabalha com a cultura canavieira e, de acordo com o coordenador da Divisão Agrícola do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Henrique Franco, não há indicativos de que o maquinário para a cultura de cana deva passar por um grande avanço do ponto de vista tecnológico no curto ou no médio prazo. Por enquanto, os problemas causados pela mecanização desse processo são muitos. Entre eles estão a compactação do solo causada pelo tráfego constante das máquinas, o consumo excessivo de mudas e os elevados índices de perdas nos canaviais. Segundo dados apresentados pelo pesquisador, com o avanço da mecanização, os canaviais apresentaram uma queda brusca de produtividade e o indicador tem demonstrado poucos avanços nos últimos anos. Assim, o setor ainda não demonstrou que conseguirá recuperar os índices vistos em safras anteriores. Ele explica que, entre 2004 a 2006, os canaviais que

apresentavam uma produtividade média da ordem de 80 toneladas por hectare, hoje apresentam algo em torno de 70 t/ha. “O resultado ruim veio mesmo com o lançamento de diversas variedades [durante esse período] com potencial genético superior das plantadas naquela época”, argumenta (Site nova cana, 2017).

Fonte: site da novaCana.com, acesso em 11/12/2017.

Figura 1. Média de produtividade de cana-de-açúcar, comparando com a introdução da colheita mecanizada no Brasil.

Atualmente, com a utilização de técnicas avançadas para o cultivo de cana-de-açúcar, aumentos quantitativos e qualitativos na produção podem ser alcançados com a aplicação de nutrientes de forma correta. A nutrição mineral representa um dos principais fatores de produção com impacto direto na produtividade, na qualidade e nos custos de produção no sistema produtivo da cana-de-açúcar, tanto no plantio quanto nos tratos culturais ao longo das soqueiras, conforme publicado em AGRIANUAL (2012) e Ativos da CNA (2015).

Tem-se encontrado respostas positivas em estudos com fertilizantes na recuperação produtiva das soqueiras, principalmente em áreas de expansão sob solos de baixa fertilidade natural ou ainda em áreas tradicionais de cultivo com esgotamento dos recursos naturais.

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é, pois, essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta. A planta em crescimento pode apresentar diferentes estádios na nutrição mineral, tendo em conta o balanço entre os suprimentos interno e externo de nutrientes e a demanda da planta por nutrientes. Inicialmente, as plantas vivem de suas reservas na semente, e o suprimento externo tem pouco efeito no crescimento. Uma segunda etapa ocorre quando a taxa de crescimento é determinada pelo suprimento de nutrientes através de um balanço dinâmico entre fatores internos da planta e suprimento externo (solo). Numa etapa final, a taxa de crescimento relativo pode diminuir por razões outras que a nutrição inadequada. Nesse ponto, a taxa de crescimento das plantas deficientes e não deficientes pode ser a mesma, já que o fator mais limitante ao crescimento não é o suprimento de nutrientes. Grande número de estudos, em muitas espécies de plantas, tem mostrado que o suprimento de P na fase inicial da vida da planta é fundamental para o ótimo rendimento da cultura. A falta de P no início do desenvolvimento restringe o crescimento, condição da qual a planta não mais se recupera. Isto limita seriamente a produção. A falta de P no período mais tardio do ciclo tem muito menor impacto na produção da cultura do que a no início (GRANT et al., 2001)

Sousa Junior, P.R. (2016) cita em seu estudo que o fósforo é o nutriente que limita a produtividade e longevidade dos canaviais nessas áreas, tem como característica apresentar teor extremamente baixo nos solos e pode apresentar-se em formas pouco disponíveis para a planta, além de apresentar alto potencial de adsorção pelos colóides do solo. O fornecimento de fósforo para a cana-de-açúcar reflete diretamente na produtividade de colmos, qualidade tecnológica e longevidade do canavial.

A aplicação de doses elevadas de fertilizantes fosfatados no sulco do plantio é prática tradicionalmente adotada pelo setor sucroalcooleiro em solos com baixa disponibilidade de fósforo (P). Considerando-se ainda o espaçamento largo da

cultura (1,5 m entre linhas), essa adubação resulta em grande concentração de P no solo na zona do sulco. Uma forma alternativa de utilização do fertilizante fosfatado no plantio, não contemplada nas atuais recomendações de adubações para a cultura, é a sua aplicação exclusiva à lanço com incorporação em área total. (REIN et al., 2015).

Dentre todas as informações recolhidas e vários tipos de manejos e fontes de fósforo utilizados no plantio da cana-de-açúcar, o objetivo desse trabalho foi avaliar qual a melhor forma de aplicação de fósforo no plantio da cana-de-açúcar e o melhor resultado em diferentes fontes de fósforo, auxiliando assim em expansões na instalação do canavial em áreas com baixo teor de fósforo.

2. OBJETIVO

Avaliar os efeitos de modos de aplicação de fósforo via solo e diferentes fontes de fertilizantes fosfatados sobre a nutrição, produção e qualidade tecnológica da cana planta.

3. HIPÓTESE

Os modos de aplicação de fósforo (P) na cana planta implica em diferenças na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. A aplicação de fontes distintas e a interação com os modos de aplicação influenciam a nutrição, produtividade e qualidade tecnológica da cana planta.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cana-de-açúcar, fisiologia e variedade

As primeiras raízes originadas após a operação do plantio crescem a partir da região radicular dos colmos plantados, os quais fornecem suas reservas para a divisão e crescimento celular caso haja disponibilidade de água e temperatura adequada no solo. O período inicial do desenvolvimento em cana planta é crucial para o estabelecimento da planta, de forma a aproveitar as condições de umidade no momento do plantio. O desenvolvimento do sistema radicular é um dos fatores determinantes na interação genótipo-ambiente. Se, por um lado, as condições ambientais influenciam na dinâmica do desenvolvimento radicular, por outro, o sistema radicular pode alterar características do solo. O sistema radicular também pode alterar as condições químicas do solo pela excreção de substâncias que causam alterações de pH na rizosfera, e o metabolismo e a atividade dessas substâncias podem diferir entre variedades (VASCONCELOS, A.C.M. & CASAGRANDE, A.A., 2008).

Dentre as principais características a serem atendidas nas variedades citam-se as agronômicas especialmente de produtividade, rusticidade, resistência às pragas e doenças, além das características industriais como alto teor de sacarose e médio teor de fibras (STUPIELLO, 1987).

Quando plantado entre os meses de janeiro a março, é denominado como cana de ano e meio, apresentando ciclo mais longo, com média de 16 a 18 meses. Também é possível a realização do plantio entre os meses de setembro e outubro, propiciando, portanto, a redução do ciclo médio da cultura para 12 meses, sendo, neste caso, considerada como cana de ano. No entanto, para as regiões onde não há limitação térmica e com possibilidade de irrigação de salvamento, é possível ainda realizar o plantio de cana de abril em diante, conhecido como plantio de inverno. Quando a cana é destinada à alimentação animal, principalmente para a região Centro-Sul (LANDELL et al., 2002), recomendam o plantio em setembro-outubro e colheita a partir de abril-maio do próximo ano. É importante destacar que, apesar de a cana ainda não apresentar boas qualidades agronômicas e

bromatológicas, tem como vantagem a facilidade da colheita, pois dificilmente ocorrerá tombamento dos colmos (ANJOS, I.A e FIGUEIREDO, P.A.M., 2008).

Plantio

O sucesso do crescimento e desenvolvimento da muda no campo vai depender, dentre outros fatores, de um preparo eficiente do solo e um plantio bem executado. De acordo com Ripoli e Ripoli (2006), são necessárias práticas agrícolas com controle de precisão, objetivando melhor rentabilidade econômica para fazer frente ao mercado altamente competitivo. Posteriormente, as práticas de preparo e incorporação de insumos devem ser realizadas para iniciar o plantio. O ideal é que não haja camadas sub superficiais compactadas e que seja feito o destorroamento de modo a facilitar o posicionamento das mudas ou toletes, sem a formação de bolsões de ar, prejudicando o desenvolvimento radicular, que podem afetar a absorção de fósforo (P).

Os tipos de plantio utilizados para cana-de-açúcar são: manual, mecânico e com MPB, podendo também ser manual ou semi mecânico (informação pessoal).

A aplicação de doses elevadas de fertilizantes fosfatados no sulco de plantio é prática tradicionalmente adotada pelo setor sucroalcooleiro em solos com baixa fertilidade de fósforo (P). Considerando-se ainda o espaçamento largo da cultura (1,5 m entre linhas), essa adubação resulta em grande concentração de P no solo na zona do sulco. Uma forma alternativa de utilização do fertilizante fosfatado no plantio, não contemplada nas atuais recomendações de adubações para a cultura, é a sua aplicação exclusiva a lanço com incorporação em área total (REIN, T.A. et al., 2015).

Nos primeiros dois anos de cultivo, sua produtividade está mais relacionada às características químicas e físicas dos horizontes superficiais do solo e do manejo agrícola (calagem e adubações). Após o terceiro corte, as características dos horizontes subsuperficiais influenciam mais na produção e produtividade da cultura (maior exploração do solo – maior disponibilidade hídrica), na estabilidade da produção e na produtividade da cultura (MANZATTO et al., 2009).

Segundo korndorfer et al. (1989b), o fósforo promoveu estímulo significativo ao perfilhamento da cana planta e efeito semelhante entre fontes fosfatadas (ácido fosfórico, superfosfato triplo e superfosfato simples) aplicados no solo de textura

média/arenosa. Do mesmo modo, Penatti (1990) e Ferreira et al. (1989) obtiveram resultados semelhantes, com aumento significativo no número de perfilhos por metro linear da cana planta com aplicação de adubo fosfatado (PENATTI, C.P., 2013).

Peres, C.E.B e Luz, P.H.C (2014), citam em seu trabalho que a soqueira de cana-de-açúcar responde significativamente a aplicação de P e a diferentes fontes do elemento, sendo que sua aplicação, independente da fonte utilizada, foi eficiente em promover o aumento do teor do elemento no solo, não alterando as características tecnológicas da soqueira de cana-de-açúcar, sendo os polifosfatos mais eficientes em aumentar a produtividade em comparação ao superfosfato triplo.

Santos, V.R. et al. (2012) avaliaram o crescimento e a produtividade agrícola da cana planta em diferentes fontes de fósforo: 1. Testemunha; 2. NK + micro; 3. Superfosfato simples (SS); 4. Superfosfato triplo (ST); 5. Fosmag; 6. Gafsa; 7. MAP; 8. Fórmula 06-26-24 (460 kg ha⁻¹); 9. Composto e 10. SSP – parcelado. O Super Triplo proporcionou o melhor rendimento agrícola na cana planta.

Moda, LR. (2015) avaliou o efeito da aplicação de doses de fósforo em diferentes fontes, na presença e na ausência da torta de filtro sobre o crescimento, estado nutricional e a produtividade da cana planta e da primeira soqueira cultivadas em diferentes solos do Estado de São Paulo, colhida sem despalha a fogo. A aplicação de doses de fósforo aumentou o teor do nutriente no solo, quando associado à torta de filtro melhorou o crescimento da cana, e a nutrição fosfatada, elevando a produtividade de colmos.

Praticamente, todo fósforo é absorvido através do contato com a raiz, através do processo conhecido como difusão (que permite aos íons fosfatados migrar da superfície da fase sólida do solo até a superfície das raízes), além do fósforo que está prontamente disponível na solução do solo. Sua movimentação no solo é muito baixa, permanecendo próximo das raízes, onde comumente é aplicado e, por isso, na cana planta é localizado dentro do sulco de plantio e na cana soca ao lado das linhas das soqueiras (PENATTI, C.P., 2013).

Segundo Malavolta (1982) citado em Malavolta, E. (2006) a exigência de Fósforo (P) na cultura da cana-de-açúcar é de 10 Kg para os colmos e 10 Kg para as folhas, em seu ciclo completo.

Conforme citado em Penatti, C.P.(2013), embora se utilizem pesadas aplicações de fertilizantes fosfatados em cana-de-açúcar, a extração do fósforo (P) é a menor entre os macronutrientes. Cita que Dillewijn (1952) obteve uma absorção de

0,20 Kg de P por ton de colmo, e Orlando Filho e Zambello (1980a) obtiveram de 12 a 36 Kg de P_2O_5 por 100 toneladas de colmo, dependendo do tipo de solo e variedade de cana.

A cultura da cana-de-açúcar apresenta quatro estádios fenológicos bem definidos, cada um composto por quatro etapas (GASHO; SHIS, 1983; CÂMARA, 1993; RIPOLI et al., 2006; AUDE, 1993), subdivididas em quatro fases cada.

Na brotação, a presença de umidade no solo promove o intumescimento da gema e dos primórdios radiculares localizados na região do nó. A brotação rompe as folhas lignificadas da gema saindo pelo poro germinativo e se desenvolve em direção à superfície do solo. Ao mesmo tempo surgem as raízes adventícias do tolete e o consumo das reservas nutricionais do tolete aumenta (RIPOLI, et al., 2006). De acordo com Wood (1976) e Taiz e Zeiger (2009), conforme citado em Cristofolletti Junior, S.C., 2012, assim que ocorre a brotação, esta induz a formação de auxina, fazendo com que as demais gemas não brotem ou atrasem a brotação, resultando em menor taxa de brotação quando comparadas com rebolos com menor números de gemas.

A emergência ocorre cerca de 20 a 30 dias após o plantio. A brotação é um caule em miniatura que emerge acima da superfície do solo, também chamado de colmo primário (SEGATO et al., 2006; AUDE, 1993). A gema apical vegetativa assume o crescimento em altura, resultando em uma sucessão de nós e entrenós, formando o colmo de cana-de-açúcar continuará seu crescimento em altura assumido pela gema apical (SEGATO et al., 2006).

Duas a três semanas após a emergência iniciam-se o aparecimento de raízes fibrosas na base do colmo primário, com a função de fixação no solo e absorção de nutrientes. Segundo Ripoli et al. (2006) em conjunto com as raízes do tolete formam-se o sistema radicular primordial da futura touceira. O sistema radicular da cultura é muito amplo e bem desenvolvido, do tipo fasciculado, iniciando-se através dos primórdios radiculares da zona radicular do entrenó plantado. Estas raízes permitem o desenvolvimento inicial e a fixação da touceira no solo (DILLEWIJN, 1952; RIPOLI et al., 2006).

O fósforo (P) tem participação em inúmeros processos metabólicos da vida da planta, como fornecedor de energia, armazenamento de energia (ADP e ATP) e formação de sacarose. Sua presença no calda da cana tem efeito positivo no processo de clarificação na indústria, facilitando a decantação de impurezas e, com

isso, produzindo açúcar de melhor qualidade e de melhor valor econômico (PENATTI, C.P., 2013).

De acordo com Ripoli et al. (2006), o crescimento em altura do colmo primário, devido a dominância da gema apical vegetativa, permite a expansão das primeiras folhas, aumentando a capacidade e atividade fotossintética da planta jovem.

Para Suguitani (2006) e Cebim (2007), o perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais são denominados perfilhos e este processo varia entre as variedades comerciais de cana-de-açúcar, dentro da mesma espécie e manejo cultural. Segundo Ripoli et al (2006), nesse estágio, as gemas localizadas na base do colmo primário se intumescem e ao emergirem, cerca de 30 dias após a emergência do colmo primário, são observadas novas brotações, denominadas colmos secundários, iniciando-se assim o perfilhamento. Cada perfilho comporta-se como uma planta independente devido à presença de sua própria raiz, colmo e folhas, embora esteja interligado com os demais que compõe a touceira. De acordo com Aude (1993), o número de perfilhos decresce em função da competição por luz, água e nutrientes.

Para Ripoli et al. (2006), o processo de perfilhamento consiste na brotação sequencial de gemas a partir do colmo primário, que origina os secundários e assim sucessivamente, até um limite. O perfilhamento define a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que serão colhidos.

Segundo Casagrande, M.G. (2013), em sua publicação sobre as variedades comerciais, cita-se algumas razões para plantar a CTC 4: Estabilidade de produção a nível Brasil (vários ambientes), dando segurança ao produtor; longevidade: mantém a produtividade ao longo dos cortes; ótimas brotações em palha, recomendado para plantio mecanizado; tolerante à seca; alto perfilhamento. Seu ambiente de produção é bem vasto, podendo ser plantado em solos A, B, C e D.

De acordo com o Centro de Tecnologia Canavieira, a variedade CTC 4 apresenta excelente perfilhamento e fechamento, nasce muito bem no plantio mecanizado e tem ótima brotação de soqueira sob a palha. Além disso tolera bem a seca, com destaque para sua estabilidade e longevidade (Revista CTC, 2013).

4.2. Fontes de Fósforo

Os adubos fosfatos são originados de jazidas de concentrados de rochas fosfáticas. Neste sentido, na região de triângulo mineiro e Goiás existem uma das maiores jazidas de fósforo da América Latina, porém, é um material de muito baixa qualidade para uso direto na agricultura, mas para transformação de formas insolúveis em formas mais solúveis são de excelente qualidade.

Na produção de fertilizantes fosfatados, a rocha fosfática é a matéria-prima essencial utilizada pelas indústrias. Como na rocha fosfatada o P_2O_5 é insolúvel em água, há necessidade de submetê-la ao ataque por ácidos fortes - "acidulação" - com a finalidade de tornar o fósforo solúvel em água e, assim, disponível para as plantas. É bom lembrar que existem rochas fosfatadas, como Arad, Carolina do Norte, Gafsa e outras que são de origem sedimentar e sua reatividade no solo é maior, de sorte que seu fósforo é aproveitado progressivamente pelas plantas: são os fosfatos naturais "reativos". O ácido fosfórico e os superfosfatos são os principais produtos obtidos na acidulação das rochas fosfatadas (BRAGA, G.N.M., 2010).

Existem 3 grupos de rochas fosfatadas ou fosfato tricálcio: Fluorapatita $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, Hidroxiapatita $Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$, Carbamatoapatitas $Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$

As rochas fosfatadas predominantes no Brasil são as fluorapatita. A reatividade dos fosfatos natural está diretamente relacionada com o grau de substituição isomórfica, isto é, quanto maior o número de substituição de PO_4^{3-} pelo $CO_3^{2-} + F^-$, maior a atividade do mesmo. Para a extração do fosfato, o primeiro passo é o mapeamento da jazida, pois nela se encontram pontos com diferentes concentrações. Posteriormente, se retira a apatita da jazida, formando o Blend, que logo após é misturado, forma um material com 8 a 10% de P_2O_5 . Após a retirada da apatita da jazida, dá-se início ao processo de concentração de P_2O_5 com a moagem, ou seja, o fracionamento no moinho de bolas. Logo após, inicia-se o processo de retirada de impurezas, como óxido de ferro e de alumínio e sílica, este processo é chamado de desmagnetização. Por fim, a flotação, mistura da apatita com amido + soda, com isso a apatita, já bem concentrada e com menor densidade, eleva-se até a superfície da mistura, sendo, posteriormente, retirada formando a lama fosfática. Esta é transportada por meio de um mineroduto para a fabricação de adubos fosfatados.

Esses adubos, ao se dissolverem em água, transformam-se em ácido fosfórico (H_3PO_4) e fosfato ácido de cálcio (CaHPO_4). Essa solução ácida que se forma no solo exerce um efeito marcante na disponibilidade de fósforo para as plantas, uma vez que o H_3PO_4 produzido concorre para a dissolução dos óxidos de Fe, Al e Mn, acelerando o processo de fixação de fósforo. Desta forma, a disponibilidade de fósforo na forma de fosfato é menor, porque esta molécula é facilmente imobilizada no solo e na superfície das folhas (DAMETO, P.R., 2017).

O ácido fosfórico possui de 52 a 55% de P_2O_5 . Na acidulação da rocha fosfática, utiliza-se uma maior quantidade de ácido sulfúrico para obter o ácido fosfórico e sulfato de cálcio (gesso). O sulfato de cálcio é separado por filtração, produzindo para cada tonelada de P_2O_5 do ácido fosfórico, cerca de cinco toneladas de gesso. Este processo é chamado "processo úmido". Obtem-se a partir do ácido fosfórico superfosfato triplo, fosfatos de amônia, e fertilizantes líquidos. É possível, também, produzir ácido fosfórico, fundindo a rocha fosfatada com carvão coke e sílica em um forno elétrico, sendo o elemento fósforo obtido, queimado e transformado em ácido fosfórico. Este ácido "puro" é utilizado nas indústrias alimentícias e de detergentes. O ácido superfosfórico, é um produto mais concentrado, pois possui de 67 a 76% de P_2O_5 . É obtido pela concentração do ácido fosfórico via úmida, ou pela redução do teor de água no ácido obtido via forno elétrico; o produto contém muitos polifosfatos que apresentam solubilidade mais alta e solubilizam algumas impurezas, quando na produção de fertilizantes fluidos (Site VALE FERTILIZANTES).

O Superfosfato Simples possui 18% de P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) mais água e 16% de P_2O_5 solúvel em água; além disto, contém 18 a 20% de cálcio e 10 a 12% de enxofre. Sua produção foi descoberta em 1840 e, portanto, é o fertilizante mais antigo. Ainda é muito usado, mas vem perdendo espaço por causa da sua unidade de P_2O_5 ser a mais cara que os outros fertilizantes fosfatados. A vantagem é que possui enxofre na sua composição química. É um produto fácil de ser fabricado: mistura-se a rocha fosfatada moída com o ácido sulfúrico, e aguarda-se até que a massa solidifique e cure; completada a reação de "cura", a massa é quebrada. Contém também gesso. Já o Superfosfato Triplo (supertriplo) contém 41% de P_2O_5 solúvel em CNA+água, 37% de P_2O_5 solúvel em água e 12 a 14% de cálcio. A rocha fosfatada é tratada com ácido fosfórico. O processo é semelhante à produção do supersimples, mas o produto tem maior

concentração de fósforo devido à utilização do ácido fosfórico que é mais concentrado neste elemento. A apatita é acidulada com o ácido fosfórico:

Tanto o superfosfato simples como o super triplo podem ser tratados com a amônia (NH_3) para a obtenção dos fosfatos amoniados (MICROQUÍMICA FERTILIZANTES, 2017).

O ácido fosfórico combina-se com a amônia para a produção de fosfatos de amônia. Temos dois tipos principais: DAP - diamônio fosfato - possui 16% de N, 45% de P_2O_5 solúvel em CNA+água, 38% de P_2O_5 solúvel em água. É muito utilizado nas indústrias de fertilizantes para a formulação de misturas NPK, prontas para aplicação direta no solo.; e o MAP - monoamônio fosfato - possui 9% de N, 48% de P_2O_5 solúvel em CNA+água, 44% de P_2O_5 solúvel em água. Como o DAP, também é utilizado pelas indústrias de fertilizantes para a produção de misturas NPK. São fosfatos de alta concentração de fósforo, alta solubilidade em água, e baixo custo de produção (EMBRAPA Ageitec, 2017).

Os fosfatos parcialmente acidulados são obtidos pelo tratamento da rocha fosfatada com menores quantidades de ácidos fosfórico ou sulfúrico. Possuem 20% de P_2O_5 total, 9% de P_2O_5 solúvel em CNA + água e 5% de P_2O_5 solúvel em água. Além disto, possuem 25 a 27% de cálcio; zero a 6% de enxofre; e de zero a 2% de magnésio.

Os fosfatos naturais reativos são rochas fosfatadas sedimentares, amorfas, e que através de pesquisas comprovaram a sua eficiência agrônômica; são produtos indicados para aplicação direta no solo. Os fosfatos reativos não sofrem nenhum tratamento químico com ácidos; sofrem apenas uma moagem, que os transforma em pó. Entre os fosfatos naturais reativos temos o Arada (Israel), Carolina do Norte (Estados Unidos da América), Gafsa (Tunísia-África do Norte) e outros que estão sendo importados e comercializados pelas indústrias de fertilizantes. Os fosfatos naturais reativos devem apresentar garantias mínimas, para comercialização de

28% de P_2O_5 total, 9% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico 2%, relação 1:100. A relação 1:100 significa 1 g do fosfato diluído em 100 ml de ácido. No mercado comum Europeu, não existe restrições para a comercialização de fosfatos naturais para aplicação direta no solo; para que o fosfato seja considerado reativo, eles exigem que 55% do fósforo total seja solúvel no ácido fórmico 2% relação 1:100. Para eles, o ácido fórmico 2%, 1:100, é o melhor extrator para avaliar fosfatos naturais reativos. Por exemplo: o fosfato natural de Gafsa possui 28 a 30% de P_2O_5 total e 24% de fósforo solúvel no ácido fórmico 2% 1:100; ou seja, 80% do seu fósforo total é solúvel no ácido fórmico 2% relação 1:100. A relação 1:100 significa 1 g de fosfato reagindo com 300 ml de ácido fórmico a 2%. Os fosfatos naturais reativos contém de 30 a 34% de Ca; O de Gafsa possui de 30 a 35% (BRAGA, G.N.M., 2010).

Os termofosfatos possuem em média 17% de P_2O_5 total, 14% de P_2O_5 solúvel no ácido cítrico 2% relação 1:100 e 18 a 20% de Ca. A rocha fosfatada é submetida a um tratamento térmico e adição de compostos magnesianos e sílicos. Apresentam, também, características de corretivo de acidez. Geralmente, os termofosfatos são preparados através do aquecimento ($1000^\circ\text{C} - 1450^\circ\text{C}$) da rocha fosfática. As suas características de solubilidade lenta e presença de macronutrientes secundários (Mg e Ca) e micronutrientes (Mn, Fe e Si, etc) na sua composição fazem do produto uma alternativa interessante para a região tropical. Os termosfosfatos são solúveis em ácido cítrico mas não solúveis em água, embora ambas as formas de P são consideradas disponíveis para a planta

Segundo informações da empresa Forza Fertilizantes (<http://forzafert.com.br/produtos.html>), o termofosfato magnesiano Optein é um fertilizante fosfatado obtido através do processo de fusão da rocha fosfática com o silicato de magnésio, rochas calcárias e fontes de micronutrientes (boro, cobre, manganês e zinco), resultando em um produto nutricionalmente balanceado e de alta eficiência agrônômica. O material fosfático pré-aquecido, juntamente com a rocha calcária e os minerais contendo os micronutrientes, são aditivados com o silicato de magnésio no estado líquido a quente. Em virtude da rota metalúrgica de produção do ferro-níquel, o silicato de magnésio obtido no processo é vazado a temperatura média de 1.600°C para o forno elétrico que produz o termofertilizante e, com isso, a enorme quantidade de energia calorífica contida no material fonte de silício e magnésio é integrada ao sistema, necessitando apenas de acréscimos de energia para que a mistura alcance seu ponto de fusão, a 1.500°C . O material

fundido resultante é submetido a um choque térmico com jato d'água para solidificação, cujo volume e pressão definem a granulometria desejada. O produto semiacabado segue para secagem e moagem, onde posteriormente é ensacado e comercializado. As garantias dadas pela empresa é de 18 % de P_2O_5 total e 17% de P_2O_5 solúvel em ácido Cítrico a 2%, 8% de Mg, 19% de Ca, 11% de SiO_4 e 0,3 % de Mn.

4.3 Manejo de fósforo em cana-de-açúcar: produção e qualidade

Os sintomas de deficiência de fósforo visíveis na planta são: cor amarelada das folhas, a princípio das mais velhas, pouco brilho, cor verde-azulada ou manchas pardas, ângulos foliares mais estreitos, menor perfilhamento, gemas laterais dormentes, número reduzido de frutos e sementes, atraso no florescimento. Os sintomas químicos são o aumento de pigmentos vermelhos ou roxos em algumas espécies, aumento no conteúdo de carboidratos e aumento da relação P orgânico / P inorgânico. Sintomas anatômicos é a restrição na diferenciação dos caules. Já os sintomas de excesso de fósforo não são reconhecidos diretamente, pois pode haver deficiência de micronutrientes, metais pesados, como Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA, 2006).

Embora o fósforo seja o macronutriente menos extraído pela cana-de-açúcar, cerca de 30 kg por 100 toneladas de colmos produzidos, é o que deve ser aplicado em maior quantidade no sulco de plantio, cerca de 150 a 200 kg $há^{-1}$ de P_2O_5 , devido à alta reatividade com o solo (fixação). Potencializa-se a máxima eficiência desse nutriente pela planta por meio de práticas corretivas, como a calagem e a aplicação de fósforo em área total (fosfatagem), prática que visa abastecer o sistema (fixação) (VITTI et al., 2012).

As principais consequências práticas da fosfatagem são: maior quantidade de P em contato com o solo (maior fixação); maior volume de solo explorado pelas raízes; maior absorção de água e de nutrientes; melhor convivência com pragas de solo; e maior aproveitamento do P_2O_5 aplicado no sulco, resultando em manutenção de altas produtividades ao longo dos cortes (menor “degrau” de queda de produtividade entre os cortes), com maior longevidade do canavial (LUZ E VITTI, 2008, citado em Vitti et al., 2012)

Conforme citado em Malavolta, E. (2006), entre os macronutrientes, o fósforo (P) é, talvez, o elemento sobre o qual mais se escuta e se escreve, havendo, porém, muitas perguntas sem respostas a respeito dele. Os motivos para tantos escritos e indagações são vários: a importância para a vida da planta, do animal e do homem que come planta transformada; a frequência com que limita a produção, particularmente nos trópicos (SANCHES & SALINAS, 1981); o fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível. As quantidades totais de P nos solos brasileiros, na profundidade de 0-20 cm, variam entre 0,005 e 0,2 % o que corresponde a 110 – 4.400 kg ha⁻¹. Todo P da planta, e do solo, está presente como fosfato, livre ou esterificado através de um grupo hidroxila a uma cadeia carbônica (C-O-P) caso dos esteres simples, ou ligado a um outro radical fosfato por uma ligação de pirofosfato, presente nos nucleotídeos di e trifosfatados e em polifosfatos. O fósforo absorvido pelas plantas vem da solução do solo, mas apenas pequenas quantidades dele estão presentes na solução. A eficiência de utilização do fósforo do fertilizante é baixa. São comuns utilizações pela cana de 10 a 15% do fertilizante aplicado. (ROSSETO et al., 2010). Quando fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados ao solo, esses dissolvem-se, migram para a solução do solo mas, em decorrência da baixa solubilidade dos compostos formados e da forte tendência de adsorção, a maior parte do P fica retida na fase sólida como P lábil, passando gradativamente a P não lábil (RAIJ, 2011). Esse fator contribui para o baixo nível de eficiência dos adubos fosfatados aplicados ao solo, sendo comuns, em cana-de-açúcar, utilizações de apenas 10 a 15% do P do fertilizante (ROSSETO et al., 2010).

Segundo citado por Vitti et al. (2012), existe uma competição entre o sistema (solo-planta-atmosfera) e a planta (cultura) pelo fertilizante aplicado. Essa competição, traduzida em perdas, pode ocorrer por: erosão, lixiviação, fixação e volatilização.

Já Rosseto et al. (2008), citam que o sintoma de deficiência mais importante é o baixo crescimento da planta. As folhas velhas apresentam-se com tom arroxeado, mais estreitas e curtas. Ocorre também baixo perfilhamento, menor altura dos colmos, menor diâmetro e encurtamento dos entrenós. A importância do P para a sobrevivência da planta tem promovido o desenvolvimento de mecanismos de adaptação da planta para melhorar seu acesso aos estoques de P. A concentração de P na solução do solo geralmente é baixa, porque ele é rapidamente adsorvido nas superfícies dos colóides do solo ou são precipitados como fosfatos de cálcio

(Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al). A maior parte do P no solo se move até as raízes da planta mais por difusão que por fluxo de massa. Como o movimento do P do solo por difusão até as raízes é restrito, a difusão geralmente é considerada como o fator mais limitante na absorção de P pelas plantas. Estima-se que o P se move por difusão, em média, somente 1-2 mm; desta forma, apenas o P que se encontra a esta distância das raízes está estrategicamente disponível para ser absorvido. A absorção de P pelas plantas é proporcional à densidade das raízes; assim, o incremento da área superficial da massa radicular aumenta a habilidade da planta em acessar e absorver o P do solo.

A função do fósforo na planta se dá quando o radical fosfato no interior da planta pode estar com íons livres em solução, ligado a cátions metálicos formando compostos insolúveis, na forma mais importante são os ácidos nucleicos (DNA e RNA), fosfato de inositol, fosfolipídio e di e trifosfato de adenosina (ADP e ATP). Por fazer parte da constituição destes compostos orgânicos, o P é essencial para a divisão celular, a reprodução e o metabolismo vegetal (fotossíntese, respiração e síntese de substâncias orgânicas). Como os processos metabólicos são muito intenso nos tecidos em desenvolvimento, o P em geral é encontrado em maiores concentração neste tecido do que nos tecidos velhos. O P é bastante móvel na planta podendo, se necessário, ser deslocado de tecidos (ou parte) mais velhos para tecidos (ou partes) mais jovens. Em consequência, algumas plantas respondem às baixas concentrações de P no solo pelo aumento do sistema radicular, desenvolvendo rapidamente raízes laterais com abundantes pelos radiculares que melhoram a habilidade da planta em explorar o solo em busca de novas reservas de P do solo, e o extraem eficientemente quando áreas com alto teor de P são encontradas. Muitas plantas formam associações com micorrizas, as quais aumentam a habilidade da cultura em adquirir o P. Tem-se observado que a relação raiz-parte aérea da planta aumenta quando existe deficiência de P no início do seu desenvolvimento. Isto significa que a redução no crescimento, por efeito da deficiência de P, geralmente é maior na parte aérea da planta que nas raízes, permitindo desta forma manter pelo menos o crescimento radicular para encontrar e extrair fósforo (P) do solo (YAMADA, T. e STIPP e ABDALLA, S.R, 2004).

Rein et al. (2015) analisaram experimentos de adubação fosfatada de cana realizados no país nos últimos 30 anos, nos quais foram comparados os dois modos de aplicação do fertilizante fosfatados no plantio, exclusivamente no sulco ou a lança

com incorporação, na mesma dose de P_2O_5 por há. Em média de 12 experimentos realizados (11 com cana soca), a produtividade de colmos com aplicação do fertilizante exclusivamente a lanço na cana planta foi de 109 e 81 ton há⁻¹ para cana planta e socas, respectivamente, sendo 10 e 8 ton há⁻¹ superiores em relação às produtividades obtidas com adubação no sulco do plantio (99 e 73 ton há⁻¹ para cana planta e socas). Em nenhum caso a produtividade obtida com a adubação no sulco foi estatisticamente superior em relação à adubação a lanço. De acordo com estes resultados obtidos em diversas regiões e condições de solo, sugerem que aplicações de altas doses de fertilizantes fosfatados no sulco de plantio não é a melhor estratégia de adubação para essa cultura.

Sousa Junior, P.R. (2016) avaliou os efeitos de incorporação do fósforo e dos outros corretivos, utilizaram-se dois manejos de solo: o preparo convencional e o cultivo mínimo, com dose área total 0; 100; 200 kg ha⁻¹ P_2O_5 , tratamento terciário, dose no sulco 0; 90; 180 kg.ha⁻¹ P_2O_5 . Chegando a conclusão de que o cultivo mínimo proporcionou uma maior concentração do fósforo na camada superficial em relação ao preparo convencional e o excesso de fósforo causou uma diminuição na qualidade tecnológica e na produção de açúcar.

Barnes, J.S. e Kamprath, E.J. (1975) estudaram o efeito do FAPs para o solo e teor foliar, verificando que em solo de textura média, o FAPs proporcionou aumento do teor de P (Mehlich-1) maior do que o Superfosfato Triplo, dos 15 aos 210 dias após a aplicação (daa). Usando o extrator Resina o teor de P no solo com o FAPs também aumentou e foi maior que com o Superfosfato Triplo a partir dos 100 daa, mantendo-se até os 210 daa, citando que FAPs pode ser alternativa interessante por proporcionar disponibilização gradativa do P no solo. Pelos resultados obtidos, observa-se que o FAPs proporcionou aumento na produção e no teor foliar de P nas culturas da cana-de-açúcar, sorgo e milho, pelo fornecimento de fósforo às plantas em relação às que não receberam adubo fosfatado.

Pinotti, E.B. e Godoy, L.J.G. (2013) avaliaram o FAPs farelado em cana planta, comparando com o superfosfato simples, concluindo que houve efeito positivo dos fertilizantes FAPs Socal farelado e Superfosfato simples, quanto ao suprimento de fósforo as plantas, aumento de produtividade e aumento da produção de açúcar por área, principalmente na maior dose de P (200 Kg ha⁻¹ P_2O_5), devido o baixo teor de P inicial do solo e poder de fixação muito alto, podendo assim serem recomendados como adequada opção de adubação fosfatada na cana planta.

Ressalta-se que o FAPs Social farelado, na maior dose de P apresentou Índice de Eficiência Agronômica (IEA) 74% sendo superior ao Superfosfato simples na cana planta.

Em um estudo com modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira, realizado em Alta Floresta – MT, fizeram nas parcelas principais (adubação corretiva), foram aplicadas a lanço, em área total as seguintes doses de P: 0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Foi utilizado como fonte de P o fosfato natural reativo de Arad (33% de P₂O₅ total e 10,4% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2%). Nas subparcelas (adubação de manutenção) foram aplicadas as seguintes doses de P no sulco de plantio (aproximadamente 0,20 m de profundidade): 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando como fonte de P o superfosfato triplo (46% de P₂O₅ total e 42% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2%). A colheita da cana-de-açúcar (colmos + folhas) e as respectivas avaliações de produtividade de matéria verde e matéria seca, altura de planta, número de colmos m⁻¹ e diâmetro de colmo, foram realizadas aos 270 DAP. Para a produtividade de matéria verde e número de colmos m⁻¹ houve interação significativa entre as doses de adubação fosfatada corretiva e de manutenção e efeito isolado das doses de fósforo de manutenção para altura de plantas. Para massa seca e diâmetro de colmos não houve influência da adubação fosfatada. A associação de doses elevadas em área total com doses elevadas no sulco de plantio não proporcionou aumentos expressivos de produtividades na cana planta, podendo-se então nesse caso, optar por doses de 143 a 170 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em uma única forma de aplicação. Ambas as formas de aplicação de fósforo proporcionaram produtividades semelhantes, assim, a aplicação no sulco de plantio é mais viável, por ser menos onerosa. (CAIONE, G et al., 2011).

Thomaz, H.Q.V. (2009) verificou qual o sistema mais eficiente de aplicação e fornecimento de fósforo como nutriente para produção de cana, enfatizando formas de aplicação (fosfatagem) determinando a dose a ser utilizada e a fonte mais eficiente na disponibilização de fósforo ao longo dos anos. Trabalhou com duas doses (100 e 200 kg há⁻¹), três formas de aplicação (sulco de plantio, área total e dividido 50% no sulco e 50% em área total). As sub parcelas foram compostas por cinco fontes de fósforo: Salmec, rocha fosfática nacional (Araxá), rocha fosfática importada (Arad), fosfato solúvel (Super Triplo), e uma combinação Salmec + Super Triplo. Realizou-se a avaliação da produção nos três anos de experimento, e no terceiro corte da cana foram avaliadas as características tecnológicas do colmo. As

aplicações de fósforo no plantio produziram efeitos positivos no primeiro corte independentemente da fonte e forma de aplicação, e não foram suficientes para causar efeitos nas produtividades dos cortes subsequentes. Concluiu que como não houve diferença entre formas de aplicação, a aplicação no sulco de plantio tem maior retorno econômico. O uso da fonte alternativa Salmec é viável e foi mais vantajoso economicamente que outras fontes de P. Não há necessidade de aplicação de doses elevadas ($200 \text{ Kg P}_2\text{O}_5 \text{ há}^{-1}$) sem controle de fatores limitantes. Para as características tecnológicas, os tratamentos não foram suficientes para causar diferenças significativas.

Na avaliação da produtividade e o valor nutricional de duas variedades de cana-de-açúcar cultivada com diferentes fontes de fósforo, durante três ciclos de produção no norte do Mato Grosso, foram diferentes fontes de fósforo: a farinha de ossos, fosfato de Arad e superfosfato triplo, na dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 do nutriente no sulco de plantio. As variedades de cana-de-açúcar plantadas foram a IAC86-2480 e a SP79-1011. Avaliou-se a produtividade de matéria seca, teor de matéria seca, fibra em detergente neutro e, em detergente ácido, lignina, celulose, digestibilidade *in vitro* e proteína bruta da forragem. As fontes de fósforo proporcionaram maiores produtividades durante o primeiro ciclo da cana-de-açúcar e não causaram efeito significativo na produtividade nos ciclos posteriores. A adubação fosfatada não promoveu alterações significativas no valor nutricional da cana-de-açúcar. A variedade IAC86-2480 apresentou maior teor de proteína bruta nos três ciclos e maior produtividade de matéria seca nos dois primeiros ciclos, em relação a SP79-1011. Em relação aos constituintes fibrosos, ambas as variedades apresentaram resultados semelhantes (CAIONE, G. et al., 2012).

Para confirmação dos diagnósticos das folhas, faz-se análise foliar, conforme citado em Prado et al., 2008, coletando-se 20 cm centrais da folha + 1 (folha mais alta com colarinho visível), excluindo a nervura central na fase de maior desenvolvimento vegetativo (RAIJ et al, 1996), a folha +3, sendo a folha +1 a primeira com bainha visível, coletando os 20 cm centrais sem a nervura, aos 4 meses após a germinação (cana planta) ou na brotação (cana soca) (OLIVEIRA, 2004), a folha +3, sendo a folha +1 a primeira com bainha visível, coletando os 20 cm centrais sem a nervura, 4-5 meses de idade (MARTINEZ et al., 1999).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Características da área experimental e condições climáticas

O experimento foi implantado e conduzido em uma área comercial de cana-de-açúcar no município de São João da Boa Vista - SP, na Fazenda Pastão Barreiro, designado como setor 420064, talhão 11, atualmente área de arrendamento da Abengoa Bioenergia Agroindústria, apresentando como coordenadas geográficas $46^{\circ} 0' 9,28''$ de longitude Oeste de Greenwich e $22^{\circ} 52' 9.59''$ de latitude Sul com altitude de 725 metros.

Figura 2. Localização da área experimental (talhão 11)

O clima predominante da região é do tipo Cwa, que caracteriza clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (KOPPEN e GEIGER, 1928). O monitoramento agrometeorológico, contendo os dados mensais referente à

precipitação pluvial e o balanço hídrico da data do plantio até a colheita, com o objetivo de demonstrar as condições de 17 de Setembro de 2015 até 18 de Outubro de 2016, estão representados nas figuras 3 e 4.

Figura 3. Precipitação pluviométrica mensal na região do experimento

Figura 4. Balanço hídrico de São João da Boa Vista (período de condução do experimento)

O plantio foi realizado no dia 17 de Setembro de 2015, manualmente. A variedade utilizada foi a CTC 04, sendo as mudas oriundas de viveiro da Usina São João (Abengoa Bioenergia Brasil).

Figura 5. Plantio manual de cana-de-açúcar

Figura 6 e 7. Variedade CTC 4 de cana-de-açúcar

5.2 Tratamentos, delineamento experimental e atributos do solo

Para a implantação do experimento, foi adotado um esquema de tratamento em parcelas subdivididas em um delineamento casualizado em blocos, com quatro repetições. As parcelas são constituídas de 4 linhas de 10 metros de comprimento com espaçamento entrelinhas de 1,5 metros, totalizando-se 40 metros lineares de cana-de-açúcar ou 60 m², considerando-se 02 linhas de bordadura e 02 linhas de área útil.

Utilizou-se um experimento em parcelas subdivididas, sendo os cinco níveis de fosfatagem em área total (fator: Área) designados, por sorteio, às parcelas e os cinco níveis de adubação de P no sulco (fator: Sulco) designados, por sorteio, às subparcelas. Os níveis dos dois fatores e um croqui do experimento são apresentados a seguir. O experimento foi constituído de 25 tratamentos representados pela aplicação de diferentes dosagens, formas e tipos de fósforo via solo no preparo em área total e no momento da sulcação nos sulcos, conforme descrito abaixo:

Parcela – Fosfatagem em área total:

A – Controle – sem aplicação de fósforo

B - MAP 290 kg ha⁻¹

C - FAPs P28 540 kg ha⁻¹

D - Super Triplo 326 kg ha⁻¹

E - Termofosfato 825 kg ha⁻¹

Sub Parcela – Adubação de P no sulco

1 - FAPs P28 100%

2 - FAPs P28 50% + MAP 50%

3 - Linha: FAPs P28 25% + MAP 75%

4 - MAP 100%

5 – Controle - Sem Fósforo

O nome comercial do FAPs utilizado é o Multifós P28. Para o Termofosfato utilizamos o Optein.

Parcelas	Sub Parcelas	I	II	III	IV
D	3	3	3	3	3
	1	1	1	1	1
	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	4
	2	2	2	2	2
A	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5
C	3	3	3	3	3
	5	5	5	5	5
	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1
	4	4	4	4	4
E	3	3	3	3	3
	1	1	1	1	1
	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	4
	2	2	2	2	2
B	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5

Figura 8. Disposição dos tratamentos no campo

Os tipos de solos predominantemente da região são o Podzólico vermelho amarelo – Orto (57 %) e Latossolo Vermelho Amarelo – Orto (24,6 %). São solos formados a partir do Complexo Cristalino da região serrana, ocupando a área das meias encostas das serra e relevo ondulado. É ácido e medianamente ácido. O relevo é o principal fator restritivo ao uso deste solo, seguido pela erosão, geralmente decorrente daquele fator e pela fertilidade. O manejo desse solo requer práticas agrícolas cuidadosas.

No talhão do experimento o solo foi classificado como Argiloso, tendo 59,7 % de argila, 21,0 % de silte e 19,3 % de areia, conforme análise física (tabela 2). Foram coletadas amostras de solo antes da implantação do experimento e com 292 dias após a aplicação dos tratamentos. As análises de solo foram realizadas segundo método proposto por Raij et al, (2001). Os dados referentes a análise química encontram-se na tabela 1.

5.3 Aplicação dos Tratamentos e Amostragem

O preparo do solo foi realizado de maneira convencional, sendo realizado erradicação mecânica da soqueira, sendo realizado após a fosfatagem em área total uma gradeação pesada e uma média, subsolagem e gradeação niveladora. Nas aplicações de fósforo (P) em área total, de acordo com cada parcela do experimento, foram denominados como talhão A, B, C, D e E, aplicados respectivamente do produto comercial: Sem Fósforo 0 Kg ha⁻¹ (controle), MAP 290 Kg ha⁻¹, FAPs P28 540 Kg ha⁻¹ (Multifós P28), Super Triplo 326 Kg ha⁻¹ e Termofosfato 825 Kg ha⁻¹ (Optein).

A aplicação nas sub parcelas foram realizadas na sulcação do plantio. No momento da sulcação foram aplicados os fertilizantes fosfatados nos sulcos, de acordo com cada parcela do experimento, denominados T1, T2, T3, T4 e T5. As dosagens de fósforo (P₂O₅) foram: FAPs P28 100%, FAPs P28 50% + MAP 50%, FAPs P28 25% + MAP 75%, MAP 100% e Controle (sem aplicação) respectivamente, juntamente com os fertilizantes nitrogenados e potássicos (N e K).

As parcelas e sub parcelas, com exceção do controle, foram aplicados 150 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

Tabela 1. Resultado de análise química de solo de caracterização da área

Setor	Prof	Área há	Na	P	K	Ca	Mg	S-SO ₄	MO g	pH	B mg	Cu	Fe	Mn	Zn	CTC	V %	H+AL
Código			mmolc dm ⁻³	resina mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³	mmolc dm ⁻³	mmol c dm ⁻³	mg dm ⁻³	dm ⁻³	(CaCl 2)	dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol c dm ⁻³		
420064 Faz Pastão Barreiro	0-20	5,72	2,64	9,8	2,64	47	14	9,8	2,1	5,8	0,21	1,77	13	7,8	0,64	89,68	73,9	23,2
420064 Faz Pastão Barreiro	20-40	5,72	0,61	6	0,61	16	6	7,2	1,5	4,8	0	0	0	0	0	58,12	40	34,9

Fonte: Abengoa Bioenergia Brasil

Tabela 2. Resultado de análise física de solo da área de experimento

Setor	Área há	Areia total	Argila	Silte	Classificação Textura
Código		Textura g.dm ⁻³			
420064 Faz Pastão Barreiro	5,72	193	597	210	Argilosa

Na cobertura foram aplicados Fungicidas (Azoxistrobina e Ciproconazol, 0,3 L há^{-1}) e Inseticidas (Fipronil 0,250 kg há^{-1}). Anteriormente a este experimento, a área era utilizada também para o cultivo de cana-de-açúcar, com a variedade SP 80-1816, de 2011 a 2015, tendo realizados 4 cortes na antiga soqueira, com produtividade média 61,70 ton há^{-1} , sendo a última colheita realizada em abril/2015.

Foi realizada a coleta de solo, em 04 de Julho de 2016 (292 dias após plantio) onde em cada parcela foi retirada 3 amostras de solo nas profundidade de 0 - 20 cm na linha do plantio e na entrelinha. Todas foram embaladas, identificadas e destinadas ao Laboratório de Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos em Pirassununga-SP no Departamento de Zootecnia, para análise química.

Figura 9. Realização de fosfatagem em área total

Figura 10. Sulcação para plantio e adubação de fósforo nos sulcos

5.4 Avaliações de campo

Coleta de folhas para análise foliar

Para coleta de folhas, ocorridas em 26 de junho de 2016 (284 dias após plantio) seguimos recomendações de Malavolta (1982), citado por Prado et al (2008) no qual foram selecionadas as alturas médias, escolhida a TVD (Top Visible Dewlap – última lígula visível). Foram coletadas 40 folhas ao acaso dentro de cada parcela. As folhas coletadas foram cortadas as partes superior e inferior da folha, deixando a porção de aproximadamente 30 cm (terço central da folha), foram lavadas em água deionizada e retirado a nervura central. Realizada a identificação de cada amostra, foram secas em estufa a 60° C por 72 horas, moídas e enviadas ao Laboratório de Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos em Pirassununga-SP no Departamento de Zootecnia.

Colheita e avaliações de produtividade

Em campo, após 13 meses do plantio, em 18 de Outubro de 2016, foi realizado a medida da altura e diâmetro dos colmos, com auxílio de trena e paquímetro respectivamente, contado o número de colmos por metro linear e colhido as parcelas (2 ruas de 10 metros), pesados e enviadas ao Laboratório da Usina São João em São João da Boa Vista para a realização das análises tecnológicas (ATR, Pol, Pureza e Fibra).

Figuras 11 a 14. Colheita e montagem das amostragens

5.5 Avaliações em laboratório – solo e foliar

Chegadas ao laboratório, as amostras de solos foram acondicionadas em recipientes próprios para os procedimentos da análise. As análises de solo foram realizadas segundo metodologia proposta por Raij et al., (2001).

As folhas, já preparadas foram acondicionadas em recipientes próprios para a análise, em que foram realizadas segundo metodologia proposta por Nogueira, A.R et al., (2005).

Figuras 15 e 16. Colheita de folhas para análise foliar

5.6 Avaliações tecnológicas

Após as amostragens, os feixes foram encaminhados ao laboratório de análises de cana-de-açúcar da unidade industrial da Abengoa Bioenergia – Unidade São João para realização das análises tecnológicas. Os procedimentos foram realizados de acordo com as diretrizes contidas no Manual de Instruções Consecana (2006).

A extração do caldo, pesagem do bagaço úmido e as leituras ocorreram imediatamente após a desintegração e homegeinização das amostras. Foram efetuadas as seguintes determinações:

Brix (Bj): a determinação do brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) foi realizada através de um refratômetro digital de leitura automática.

Fibra (F): a fibra de cana foi calculada através da equação: $F = 0,08 * PBU + 0,876$, onde PBU = Peso úmido do bagaço da prensa.

Pol do caldo (S): foi determinado através de sacarímetro digital automático. A pol do caldo (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) foi calculada pela seguinte equação: $S = LPol * (0,26047 - 0,0009882 * Bj)$. Onde LPol = Leitura sacarimétrica do caldo clarificado; e, Bj = Brix do caldo.

Pol da cana (PC): A pol da cana foi calculada através da equação: $POL = S * (1 - 0,01 * F) * C$. Onde: S= Pol do Caldo; F= Fibra; C= Coeficiente utilizado para a transformação da pol do caldo extraído pela prensa (S) em pol de cana (PC).

Pureza no caldo (Q): A pureza aparente do caldo (Q) pode ser definida como a porcentagem de pol em relação ao brix, foi calculada pela equação: $Q = 100 * (S/Bj)$, onde S= Pol do caldo; Bj= Brix do caldo.

Açúcares Redutores da cana % (ARC): O cálculo dos açúcares redutores da cana (ARC) foi realizado pela equação: $ARC = AR * (1 - 0,01 * F) * C$. Onde: AR= açúcares redutores do caldo.

Açúcar Total Recuperável (ATR): Obtidos a pol da cana (PC) e os açúcares redutores da cana (ARC), o ATR foi calculado pela equação: $ATR = (9,526 * PC) + (9,05 * AR)$.

Figura 17. Cana no laboratório para análises tecnológicas

5.7 Análises estatísticas

Foram analisados estatisticamente as variáveis respostas de produção, número de perfilhos aos 5 meses e aos 13 meses, peso do colmo, ATR, PC, Pureza, Fibra e Brix.. A análise de variância dos dados foi realizada através de dos procedimentos GLM e GLIMMIX do SAS®, utilizando o modelo descrito na seção 5.2, e que as pressuposições do modelo foram verificadas pelo SAS/LAB. As médias dos níveis dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando um nível de significância de 0,05.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos químicos do solo

Verificando as estatísticas realizadas com os dados da análise de solo, realizada aos 292 dias após a aplicação dos tratamentos, com os elementos fósforo(P), enxofre(S), potássio(K), cálcio(Ca), magnésio(Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), matéria orgânica(MO), soma de bases(SB), capacidade de troca catiônica(CTC), V% e pH podemos verificar na tabela 3 que houve diferença significativa ao teste de Tukey ($p < 0,05$) nos tratamentos de fosfatagem empregados para o pH CaCl_2 , fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e V%, não tendo diferença significativa para o enxofre (S).

Na tabela 4 é apresentado a análise de estatística para cada elemento, podendo observar que em relação aos valores de pH (CaCl_2) variaram pouco nos tratamentos, porém houve diferença significativa dos tratamentos Controle e Termofosfato em relação ao tratamento com MAP e FAPs P28, sendo a fosfatagem com Super Triplo, apresentando igualdade estatisticamente com todos os outros tratamentos. O valor menor do pH das áreas realizadas fosfatagem em relação ao tratamento Controle (sem aplicação de fósforo) é consequência da acidez dos fertilizantes fosfatados, oriundos de ácido fosfórico, principalmente do MAP por conter em sua formulação nitrogênio (N). Já os fertilizantes Termofosfato e Super Triplo possuem cálcio (Ca) em sua fórmula, de 12 a 14% e 19% respectivamente.

Para o fósforo (P), houve diferença significativa de todos tratamentos aplicados fósforo (MAP, FAPs P28, Super Triplo e Termofosfato) em relação ao Controle (sem aplicação de fósforo), confirmando a necessidade de aplicação do elemento no plantio de cana-de-açúcar. Segundo citado por Luz, P.H.C (2016), os níveis de fósforo (P) no solo (extrator resina trocadora de ânions) é considerado muito baixo ($0-5 \text{ mg/dm}^3$), baixo ($6-12 \text{ mg/dm}^3$), médio ($13-30 \text{ mg/dm}^3$), alto ($31-60 \text{ mg/dm}^3$) e muito alto ($>60 \text{ mg/dm}^3$). Na tabela 4 verifica-se que melhores resultados foram obtidos nas áreas realizadas fosfatagem, permanecendo o solo com nível médio de fósforo mesmo após a extração de P pela plantas. Para o fósforo (P), o melhor resultado para o solo até a época do 1º corte da cana-de-açúcar foi a

Tabela 3. Análise de variância para os atributos químicos do solo coletado aos 292 dias após tratamentos de fosfatagem (parcelas)

	pH CaCl ₂	P resina	S	K	Ca	Mg	H+Al	MO	SB	CTC	V
		mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³			g kg	mmolc dm ⁻³		%
Média	5,532	15,8	3,64	1,424	35,28	9,48	25,4348	18,436	46,184	71,56	64,632
p valor	0,0007**	0,0031**	0,1374 ^{ns}	< 0,0001***	0,0073**	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0017**	0,0012**	0,0085**	< 0,0001***
CV %	2,7534	29,8611	24,2631	29,5111	8,2541	1,3354	9,9336	6,3530	7,3837	5,0113	4,9012

ns: não significativo; *** significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5 % probabilidade; * significativo a 10% probabilidade

Tabela 4. Quadro de médias para os atributos químicos do solo coletado 292 dias após aplicação dos tratamentos de fosfatagem

Fosfatagens	pH CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	H+Al	MO	SB	CTC	V
		mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³			g kg	mmolc dm ⁻³		%
Controle	5,720 a	9,800 c	0,780 c	35,800 ab	11,000 a	18,442 b	16,620 c	47,580 ab	65,800 b	72,220 a
MAP	5,300 b	20,200 ab	1,580 b	31,800 b	7,600 b	30,768 a	17,860 bc	40,800 c	72,000 a	56,920 c
FAPs P28	5,400 b	13,000 bc	2,480 a	33,200 b	8,200 b	27,954 a	19,200 ab	43,880 bc	71,600 ab	61,220 bc
Super Triplo	5,520 ab	21,800 a	1,300 bc	36,600 ab	9,000 b	27,548 a	18,380 abc	46,900 ab	74,400 a	63,040 b
Termofosfato	5,720 a	14,200 abc	0,980 bc	39,000 a	11,600 a	22,462 b	20,120 a	51,580 a	74,000 a	69,760 a
DMS	0,2545	7,8837	0,7022	4,8659	1,6372	4,2200	1,9571	5,6981	5,9900	5,2932
Erro padrão médio	0,0232	22,2600	0,1766	8,4800	0,9600	6,3837	1,3718	11,6286	12,8600	10,0344

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

DMS: desvio médio significativo

aplicação de Super Triplo (326 Kg há⁻¹) em área total. Peres, et al. (2014) concluiu também em seu estudo de que o fósforo aplicado na superfície promove, independentemente da fonte, aumentos significativos nos teores do solo.

Verificando a concentração de potássio (K) no solo, verifica-se de que com a aplicação de FAPs P28 houve uma melhor concentração do elemento, diferenciando dos demais.

Na análise de variância para o cálcio (Ca), verifica-se uma melhor disponibilidade do elemento para a área com tratamento de Termofosfato, se diferenciando estatisticamente dos tratamentos com MAP e FAPs P28. Isso se explica pela concentração de Ca existente no fertilizante Termofosfato, com garantias de 19 % de cálcio (Ca), propiciando um efeito corretivo de acidez. Para o Magnésio (Mg) verifica-se na análise de variância da fosfatagem, que o tratamentos Termofosfato se diferenciou dos demais (MAP, FAPs P28 e Super Triplo), possivelmente pela existência de 8% magnésio (Mg) na formulação de Termofosfato. Todos os tratamentos continuaram com nível alto de cálcio e magnésio no solo, devido à calagem realizada antes da instalação do experimento. Os níveis de cálcio e magnésio respectivamente são considerados baixo (<10, <5 mmolc/dm³), médio (10-20, 5-8 mmolc/dm³) e alto (>20, >8 mmolc/dm³) (LUZ, P.H.C., 2016).

Para a Matéria Orgânica (MO) houve uma diferença significativa entre os tratamentos, obtendo-se melhor resultado no solo nos tratamentos com Termofosfato, FAPs P28 e Super Triplo, respectivamente, sendo que todas as áreas com fosfatagem houve melhora na matéria orgânica comparada na área controle. Verifica-se que a área com Termofosfato apresenta diferença significativa da área Controle.

Verifica-se na saturação de bases (V%), que em todos os resultados apresenta-se um solo eutrófico (saturação de bases altas), sendo as áreas Controle, Termofosfato e Super Triplo se diferenciaram estatisticamente em relação à área de MAP. Observa-se a ocorrência destes fatores, devido concentração de Ca existente nos fertilizantes Super Triplo e Termofosfato, com garantias de 12 a 14 % e 19% de cálcio (Ca) respectivamente, propiciando um efeito corretivo de acidez.

Se considerarmos todos os elementos analisados (fósforo (P), enxofre(S), potássio(K), cálcio(Ca), magnésio(Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), matéria orgânica(MO), soma de bases(SB), capacidade de troca catiônica (CTC), V% e pH

CaCl₂), verifica-se que o melhor conjunto foi o tratamento de fosfatagem com Termofosfato, se diferenciando na média com os demais.

6.2 Análise foliar

Realizado a coleta das folhas aos 284 dias após o plantio, foram analisadas para verificação do comportamento dos seguintes elementos: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S). Houve diferença significativa ao teste de Tukey ($p < 0,05$) para todos os elementos nas parcelas de fosfatagem e nas sub parcelas de adubação no sulco, porém na interação entre áreas de fosfatagens vs adubação no sulco, para o nitrogênio (N) não houve diferença significativa, conforme tabela 5.

Tabela 5. Análise de variância para diagnóstico foliar coletado aos 284 dias após plantio nas parcelas de fosfatagem e sub parcelas de adubação no sulco.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Fosfatagem	0,0003**	< 0,0001***	0,0005**	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0027**
Adubação sulco	0,0016**	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0208**	< 0,0001***	0,0557**
Fosfatagem x Adubação sulco	0,4191ns	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0006**
Média	20,17604	1,76450	14,99384	9,03153	2,38393	2,03928
CV (%)	7,17649	4,24420	6,62221	3,69646	4,22715	8,60338

ns: não significativo; *** significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5 % probabilidade.

Conforme citado por Korndorfer, G.H. & Ramos, L.A. (2008), citado em Prado, R.M. et al. (2008), as faixas de teores adequados para os elementos analisados (N, P, K, Ca, Mg e S) estão todos equilibrados para cana planta. As médias chamadas de faixa de suficiência são: nitrogênio (N) 1,9 a 2,1 %, fósforo (P) 0,15 a 0,24%, potássio (K) 1,1 a 1,3%, cálcio (Ca) 0,8 a 1,0 %, magnésio (Mg) 0,2 a 0,3% e enxofre (S) 0,15 a 0,30%.

Comparando os tratamentos das sub parcelas (adubação no sulco) em cada área das parcelas (fosfatagem), conforme tabela 6, verificamos as diferenças significativas nos teores foliares da cana planta.

Tabela 6. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (sulco) em cada área das parcelas (fosfatagem)

	P	K	Ca	Mg	S
Controle	0,0167**	0,0852 ^{ns}	<0,0001***	<0,0001***	0,5403 ^{ns}
MAP	<0,0001***	<0,0001***	0,0039**	<0,0001***	<0,0001***
FAPs P28	0,4862 ^{ns}	0,0426**	0,2966 ^{ns}	<0,0001***	0,1893 ^{ns}
Super Triplo	0,0111**	0,0015**	0,2363 ^{ns}	0,2585 ^{ns}	0,0468**
Termofosfato	0,0642**	<0,0002**	<0,0001***	0,1178 ^{ns}	0,0225**

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade; *** significativo a 1% de probabilidade

Para o fósforo (P), as sub parcelas (adubação no sulco) não se interagem com a fosfatagem de FAPs P28. Para o potássio (K), as sub parcelas (adubação no sulco) não se interagem com a área Controle. No caso do cálcio (Ca), as sub parcelas (adubação no sulco) não se interagem significativamente com as fosfatagens de FAPs P28 e Super Triplo. Na concentração foliar de magnésio (Mg), as sub parcelas (adubação no sulco) não se interagem com as fosfatagens Super Triplo e Termofosfato. Para o enxofre (S), as sub parcelas (adubação no sulco) não tiveram significância na área Controle e na fosfatagem com FAPs P28.

Nas tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 estão colocados os resultados das sub parcelas (adubação no sulco) em cada uma das área (fosfatagem) para cada elemento que teve interação no tratamento.

Tabela 7. Desdobramento das sub parcelas do fósforo (P) presente nas folhas.

Tratamento	Controle	MAP	Super Triplo	Termofosfato
Controle	1,6397 ab	1,7140 c	1,7423 b	1,7207 b
FAPs 100%	1,6327 ab	1,8667 b	1,8237 ab	1,8170 ab
FAPs 50% + MAP 50%	1,7123 a	2,3990 a	1,9230 a	1,8233 ab
FAPs 25% + MAP 75%	1,6293 ab	1,6660 c	1,8053 ab	1,8750 a
MAP 100%	1,4983 b	1,6660 c	1,9313 a	1,8830 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observando a tabela 7, para a absorção de fósforo (P) pela folha, os melhores resultados constatou-se com a adubação no sulco (sub parcela) FAPs 50% + MAP 50% com todas as fosfatagens, ou seja, quando se faz fosfatagem, inclusive no controle, o manejo de fósforo (P) no sulco com 50% de FAPs + 50% de

MAP implicou em maior teor de P nas folhas. Todos os tratamentos proporcionaram teores adequados de fósforo (P) nas folhas (1,5 a 2,4 g kg⁻¹).

Os experimentos com FAPs realizados por Pinotti, E.B. & Godoy, L.J.G. (2012), em solos com baixo teor de P, sem aplicação de fosfatagem e com aplicação de FAPs, obtiveram para a cana planta um teor de P nas folhas de 1,7 e 1,9 g kg⁻¹ respectivamente.

Zambrosi, F.C.B. (2012) avaliou os possíveis efeitos da aplicação de P (45 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na ausência ou na presença de adubação com Mg (50 kg ha⁻¹ de Mg) sobre a produção de colmos da cana-soca. Os resultados demonstraram que o teor foliar de P aumentou significativamente (p<0,05) de 1,4 g kg⁻¹ no controle para 1,7 g kg⁻¹ e 1,9 g kg⁻¹ nos tratamentos que receberam 45 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ respectivamente.

Tabela 8. Desdobramento das sub parcelas do potássio (K) presente nas folhas.

Tratamento	MAP	FAPs P 28	Super Triplo	Termofosfato
Controle	15,2270 b	15,7160 ab	15,5530 a	13,2710 b
FAPs 100%	13,2710 bc	17,5087 a	15,2270 a	14,9010 ab
FAPs 50% + MAP 50%	19,1707 a	17,1827 ab	12,6193 b	16,8570 a
FAPs 25% + MAP 75%	12,9450 c	15,2270 b	15,5530 a	14,9010 ab
MAP 100%	13,5970 bc	16,2050 ab	15,8790 a	16,8567 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para a extração de potássio (K), representado na tabela 8, as aplicações de FAPs e MAP no sulco, juntamente com as fosfatagens proporcionaram uma concentração de potássio (K) nas folhas acima da faixa adequada, de 11 a 13 g kg⁻¹.

Para o cálcio (Ca) e magnésio (Mg), as adubações no sulco se interagiram melhor com as fosfatagens realizadas com fertilizantes que possuem Ca e Mg em suas formulações, caso do Termofosfato (19% Ca e 8% Mg) e FAPs P28 (15% Ca e 1,5% Mg), em associação com adubação no sulco com MAP 100% , conforme demonstrado nas tabelas 9 e 10. Verifica-se que alta concentração de MAP no sulco sem fosfatagem (parcela Controle), proporcionou baixa concentração de Ca nas folhas, devido ação de acidificação do solo pelo MAP.

Tabela 9. Desdobramento das sub parcelas do cálcio (Ca) presente nas folhas.

Tratamento	Controle	MAP	Termofosfato
Controle	9,1833 a	9,7233 ab	7,7067 c
FAPs 100%	8,8833 ab	9,1750 b	8,9083 ab
FAPs 50% + MAP 50%	8,3167 bc	9,1917 b	9,6450 a
FAPs 25% + MAP 75%	7,7000 c	9,0400 b	8,5050 b
MAP 100%	7,6833 c	9,9950 a	9,4333 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 10. Desdobramento das sub parcelas do magnésio (Mg) presente nas folhas.

Tratamento	Controle	MAP	FAPs P 28
Controle	2,1167 c	2,5000 b	2,0883 c
FAPs 100%	2,3333 bc	2,4467 b	2,5417 ab
FAPs 50% + MAP 50%	2,4667 ab	2,4667 b	2,7050 a
FAPs 25% + MAP 75%	2,6000 a	2,3517 b	2,6050 ab
MAP 100%	2,4900 ab	2,9150 a	2,3900 b

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para o enxofre (S), tabela 11, a adubação no sulco com FAPs 50% + MAP 50%, associado com fosfatagem (área total) de MAP, obtiveram melhores resultados, se diferenciando estatisticamente dos demais. Todos os tratamentos proporcionaram níveis adequados de S nas folhas (1,5 a 3,0 g kg⁻¹). Melhores resultados de concentrações de enxofre (S) na planta encontram-se com adubações de FAPs P28, devido concentração de 8% de S em sua formulação.

Tabela 11. Desdobramento das sub parcelas do enxofre (S) presente nas folhas.

Tratamento	MAP	Super Triplo	Termofosfato
Controle	1,8467 b	1,8227 b	2,1007 ab
FAPs 100%	2,0887 b	2,0400 ab	2,2100 ab
FAPs 50% + MAP 50%	2,5970 a	2,1130 ab	1,9073 b
FAPs 25% + MAP 75%	1,9557 b	2,2700 a	2,3790 a
MAP 100%	1,9917 b	1,9797 ab	2,2823 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Comparando os tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada sub parcelas (adubação nos sulcos), conforme demonstrado na tabela 12, verifica-se as diferenças significativas na análise foliar.

Tabela 12. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco)

	P	K	Ca	Mg	S
Controle	0,4130 ^{ns}	0,0046**	<0,0001***	<0,0001***	0,0246**
FAPs 100%	0,0012**	<0,0001***	0,0914 ^{ns}	<0,0001***	0,1928 ^{ns}
FAPs 50% + MAP 50%	<0,0001***	<0,0001***	0,0003**	<0,0001***	<0,0001***
FAPs 25% + MAP 75%	0,0005**	0,0008**	<0,0001***	<0,0001***	0,0023**
MAP 100%	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	0,0053**

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade; *** significativo a 1% de probabilidade

Para a concentração de fósforo (P) na planta, as parcelas (fosfatagem) apenas não se interagiram significativamente com a sub parcela Controle (sem aplicação). No caso do potássio (K) e magnésio (Mg) todas as parcelas (fosfatagem) se diferenciaram estatisticamente com as sub parcelas (adubação no sulco). Na análise foliar do cálcio (Ca) e enxofre (S), as parcelas (fosfatagem) não se interagiram com as sub parcelas (adubação no sulco) de FAPs 100%.

Na tabela 13 podemos verificar que quando se utiliza fonte de P menos solúvel no sulco (FAPs P28), a melhor fosfatagem foi com o MAP (fertilizante prontamente solúvel). Porém, quando adicionada fonte solúvel no sulco (MAP) as fosfatagens que obtém melhor desempenho é com Termofosfato e Super Triplo. Todos os tratamentos proporcionaram teores adequados de fósforo (P) nas folhas (1,5 a 2,4 g kg⁻¹), porém quando aplicados fertilizantes solúvel, o teor de fósforo na folha melhoram significativamente.

Pinotti, E.B. & Godoy, L.J.G. (2013) afirmaram que para o teor de P nas folhas houve diferença significativa entre os tratamentos (FAPs, Superfosfato Simples e Controle), se destacando com diferença significativa aos demais a adubação com FAPs, proporcionando maiores concentrações do elemento na folha.

Tabela 13. Desdobramento das parcelas do fósforo (P) presente nas folhas.

Fosfatagem	FAPs 100%	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	1,6327 c	1,7123 c	1,6293 c	1,4983 d
MAP	1,8667 a	2,3926 a	1,6660 bc	1,6660 c
FAPs P28	1,6957 bc	1,6793 c	1,6760 bc	1,7637 bc
Super Triplo	1,8237 ab	1,9230 b	1,8053 ab	1,9313 a
Termofosfato	1,8170 ab	1,8233 bc	1,8750 a	1,8833 ab
média	1,77	1,91	1,73	1,75

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para o potássio (K), verificamos uma menor concentração do elemento na fosfatagem Controle, por consequência da menor quantidade de raiz desenvolvida pela falta de fósforo no solo, proporcionando assim uma menor absorção de potássio pela cana planta. Silva, F.F. (2015) cita em sua tese que K é absorvido pela raízes na forma iônica K^+ e que apresenta a máxima absorção no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias. O potássio (K) interage com quase todos os outros nutrientes da planta. Na média, em todos os tratamentos obtiveram teores dentro da média esperada nas folhas (de 11 a 13 g kg^{-1}), visualizado na tabela 14.

Tabela 14. Desdobramento das parcelas do potássio (K) presente nas folhas.

Fosfatagem	Controle	FAPs 100%	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	12,8388 c	13,9230 b	14,5750 c	12,5213 c	12,8800 b
MAP	15,2270 ab	13,2710 b	19,1707 a	12,9450 bc	13,5970 b
FAPs P28	15,6937 a	17,5087 a	17,1827 ab	15,2270 a	16,2050 a
Super Triplo	15,5530 a	15,2270 b	12,6193 c	15,5530 a	15,8790 a
Termofosfato	13,2710 bc	14,9010 b	16,8570 b	14,9010 ab	16,8567 a
média	14,52	14,97	16,08	14,23	15,08

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Sousa Junior (2016) verificou em relação a exportação de nutrientes, observando que com o aumento das doses de fósforo (P) em área total, ocorreu uma maior exportação de nitrogênio pela planta, sendo que o mesmo não foi

observado com o aumento das doses no sulco. Analisando o fósforo, observa-se que as médias aumentam com a dose em área total, mas não apresentam diferença significativa (10%), com exceção do potássio que apresentou diferença com as doses em área total.

Na tabela 15, verificamos que para o cálcio (Ca), também há menor concentração do elemento na fosfatagem Controle, por consequência da menor quantidade de raiz desenvolvida pela falta de fósforo no solo, proporcionando assim uma menor absorção de cálcio (Ca) pela cana planta. Todas sub parcelas (adubação no sulco), em interação com as parcelas (fosfatagem) proporcionaram uma extração adequada de cálcio para a planta (8 a 10 g kg⁻¹)

Tabela 15. Desdobramento das parcelas do cálcio (Ca) presente nas folhas.

Fosfatagem	Controle	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	9,1833 ab	8,3167 b	7,7000 c	7,6830 c
MAP	9,7233 a	9,1917 a	9,0400 ab	9,9950 a
FAPs P28	9,0200 ab	9,3817 a	9,4350 a	9,1017 b
Super Triplo	8,8733 b	9,2150 a	9,4717 a	9,2867 ab
Termofosfato	7,7067 c	9,6450 a	8,5050 b	9,4333 ab
média	8,90	9,15	8,83	9,10

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para o magnésio (Mg) todas as sub parcelas (adubação no sulco) se interagiram melhor com a fosfatagem de Super Triplo. Segundo Malavolta (1996), pesquisadores observaram que mesmo que o Mg possa ser absorvido pelas plantas forrageiras, ele não pode ser translocado para a parte superior se as plantas estiverem deficientes em fósforo (P). Podemos averiguar os dados da tabela 16, como o Super Triplo tendo grande porcentagem solúvel em água.

Tabela 16. Desdobramento das parcelas do magnésio (Mg) presente nas folhas.

Fosfatagem	Controle	FAPs 100%	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	2,1167 b	2,3333 b	2,4667 b	2,6000 a	2,4900 b
MAP	2,5000 a	2,4467 ab	2,4667 b	2,3517 b	2,9150 a
FAPs P28	2,0883 b	2,5417 ab	2,7050 a	2,6050 a	2,3900 b
Super Triplo	2,5267 a	2,6167 a	2,6267 ab	2,7167 a	2,5950 b
Termofosfato	2,0000 b	1,9333 c	1,8333 c	1,8000 c	1,9333 c
média	2,25	2,37	2,42	2,41	2,46

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na absorção de enxofre (S) pela cana planta (tabela 17), a fosfatagem com FAPs P28 ocorreu em maior quantidade, comparado aos demais, devido a concentração de 8% de S em sua formulação. Todos os tratamentos proporcionaram níveis adequados de S nas folhas (1,5 a 3,0 g kg⁻¹).

Tabela 17. Desdobramento das parcelas do enxofre (S) presente nas folhas.

Fosfatagem	Controle	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	1,8103 b	1,6893 c	1,8223 c	1,6897 b
MAP	1,8467 ab	2,5970 a	1,9557 bc	1,9917 ab
FAPs P28	2,1973 a	2,0040 bc	2,1733 abc	1,9190 ab
Super Triplo	1,8227 b	2,1130 b	2,2700 ab	1,9797 ab
Termofosfato	2,1007 ab	1,9073 bc	2,3790 a	2,2823 a
média	1,96	2,06	2,12	1,97

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

6.3 Produtividade

Para verificarmos os resultados da produtividade (ton há⁻¹), foi analisado o número de perfilhos aos 5 meses após o plantio, número de colmos por metro linear e peso do colmo na colheita, aos 13 meses após plantio e o total de ton há⁻¹ produzidos de cana-de-açúcar (produtividade) no primeiro corte (cana planta) nas respectivas áreas dos tratamentos.

Na tabela 18, com a contagem de perfilhos aos 5 meses após plantio, podemos verificar que para os tratamentos de fosfatagem (área total) e na interação dos tratamentos (fosfatagem x adubação no sulco) não apresentou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, tendo diferença significativa apenas para a adubação no sulco. Isso ocasiona-se devido a posição do fertilizante fosfatado adicionado no sulco estar mais próximo das raízes, em que segundo Rosseto et al. (2008) o coeficiente de difusão do fósforo no solo é muito baixo, sendo lenta a movimentação do íon e, por essa razão, o elemento permanece próximo ao local onde foi aplicado, percorrendo apenas alguns centímetros no solo, implicando que as raízes deverão estar bem próximas.

Com relação ao número de colmos e ao peso dos colmos na colheita (13 meses após plantio), não houve diferença significativa para os tratamentos das sub parcelas (adubação no sulco), mas representou significância estatística para os tratamentos das parcelas (fosfatagem) e na interação entre os tratamentos de fosfatagem e de adubação no sulco.

Tabela 18. Interpretação estatística para o número de perfilhos aos 5 e 13 meses após o plantio

	N perfilhos 5 m	N colmos 13 m	Peso Colmo
Fosfatagem	0,3668ns	00009**	<0,0001***
Adubação sulco	0,0381**	0,09681ns	0,2593ns
Fosfatagem x Adubação sulco	0,4466ns	0,0011**	0,0004**
Média	1,90400	10,41869	1,043
CV (%)	16,37275	7,70923	9,14556

ns: não significativo;*** significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5 % probabilidade.

Para o número de perfilhos aos 5 meses após o plantio, colocado na tabela 19, verifica-se a adubação no sulco (sub parcela) com MAP 100% se diferenciando estatisticamente do tratamento com FAPs 100%, provavelmente por ser fonte de P solúvel e tendo nitrogênio (N) em sua formulação, proporcionando melhor perfilhamento aos 5 meses de idade da cana planta. Penatti, C.P. (2013) cita que a aplicação de nitrogênio em viveiros aumenta o vigor da muda e a capacidade de brotação. Penatti e Cantarela (s.d., citado em Penatti, C.P. 2013) compilaram resultados de 74 experimentos conduzidos pela Copersucar e pelo IAC, encontrando respostas positivas com a aplicação de nitrogênio (N) para a cana planta.

Tabela 19. Análise de variância das sub parcelas em perfilhos aos 5 meses após o plantio.

Sub parcelas	N perfilhos 5 M
Controle	12,4200 ab
FAPs 100%	12,0400 b
FAPs 50% + MAP 50%	12,9900 ab
FAPs 25% + MAP 75%	12,9700 ab
MAP 100%	14,1000 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fazendo o desdobramento das aplicações no sulco e fosfatagem, apresentou-se diferenças significativas em todas as sub parcelas em relação às parcelas, conforme tabela 20.

Tabela 20. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco) no número de colmos

	N colmos 13 m
Controle	0,0044**
FAPs 100%	0,0010**
FAPs 50% + MAP 50%	0,0233**
FAPs 25% + MAP 75%	<0,0001***
MAP 100%	0,0074**

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade; *** significativo a 1% de probabilidade

Na tabela 21 vemos que nas sub parcelas controle e FAPs P28, o melhor resultado se obteve na fosfatagem com Super Triplo. Na sub parcela com FAPs 50% + MAP 50%, a fosfatagem com FAPs P28 se diferenciou estatisticamente com as áreas aplicadas Termofosfato e Controle. Quando aplicado na sub parcela FAPs 25% + MAP 75%, as fosfatagens controle, FAPs P28, Super Triplo e Termofosfato se diferenciou estatisticamente da fosfatagem com o MAP. No tratamento de adubação no sulco com MAP 100%, verificou-se diferenciação entre as fosfatagens com Termofosfato e Super Triplo com a área aplicado MAP. Os tratamentos com MAP e Controle na fosfatagem levaram ao menor estande, enquanto que os tratamentos com Super Triplo e FAPs P28 ficaram com maiores estandes em todas as sub parcelas.

Tabela 21. Desdobramento das parcelas do número de colmos aos 13 meses após plantio (colheita)

Fosfatagem	Controle	FAPs 100%	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	9,3250 b	9,1500 c	9,8125 b	10,3375 a	10,3625 ab
MAP	10,4625 ab	9,7500 bc	10,2875 ab	8,6125 b	8,9875 b
FAPs P28	10,1750 b	10,6274 abc	11,7125 a	11,5500 a	10,3375 ab
Super Triplo	11,6875 a	11,4375 a	10,3625 ab	10,6125 a	10,7500 a
Termofosfato	10,7000 ab	11,0750 ab	10,1625 b	11,1500 a	11,1625 a
média	10,47	10,41	10,47	10,45	10,32

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Zambrosi, F.C.B. (2012) realizou um estudo para avaliar os possíveis efeitos da aplicação de P (45 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na ausência ou na presença de adubação com Mg (50 kg ha⁻¹ de Mg) sobre a produção de colmos da cana-soca. Os resultados demonstraram que a adubação fosfatada promoveu acréscimos de 17% na produção de colmos em relação ao tratamento controle (sem fertilizante fosfatado), porém, não dependeu da adubação com Mg, indicando que a aplicação deste nutriente não foi determinante para a ocorrência de resposta ao P. A eficiência de uso de fertilizante nitrogenado e potássico para a produção de colmos foi aumentada com a adubação fosfatada, com ganhos de 21% e 16% respectivamente.

Comparando os tratamentos das sub parcelas em cada parcela para o número de colmos aos 13 meses após plantio (colheita), verificamos que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, apenas nos tratamentos com MAP e FAPs P28, sendo os demais não significativo na análise de variância, conforme tabela 22.

Tabela 22. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (adubação em sulco) em cada em cada parcela (fosfatagem) no número de colmos

	N colmos 13 m
Controle	0,1151ns
MAP	0,0063**
FAPs P28	0,0230**
Super Triplo	0,1089ns
Termofosfato	0,3479ns

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade; *** significativo a 1% de probabilidade

Na parcela (fosfatagem) com MAP, houve diferença entre as sub parcelas (adubação no sulco) Controle e FAPs 25% + MAP 75 %. Na parcela (fosfatagem) com FAPs P28, houve diferença entre as sub parcelas (adubação no sulco) FAPs 50% + MAP 50 %.e Controle (tabela 23), se sobressaindo com maiores estandes o fertilizante prontamente solúvel e com nitrogênio (N) em sua formulação.

Tabela 23. Desdobramento das sub parcelas do número de colmos aos 13 meses após plantio (colheita)

Tratamento	MAP	FAPs P 28
Controle	10,4625 a	10,1750 b
FAPs 100%	9,6750 abc	10,6274 ab
FAPs 50% + MAP 50%	10,2875 ab	11,7125 a
FAPs 25% + MAP 75%	8,6125 c	11,5500 ab
MAP 100%	8,9875 bc	10,3375 ab

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na análise de variância para o peso dos colmos, quando fazemos o desdobramento das adubações no sulco e fosfatagem, conforme descrito na tabela 24, houve diferença significativa em todos os tratamentos quando comparamos os tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco).

Tabela 24. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco) no peso de colmos

	Peso Colmo
Controle	<0,0001***
Multifós 100%	0,0004**
Multifós 50% + MAP 50%	0,0041**
Multifós 25% + MAP 75%	<0,0001***
MAP 100%	0,0014**

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade; *** significativo a 1% de probabilidade

Nas sub parcelas Controle e FAPs 100%, quando aplicadas nas áreas de fosfatagem com Termofosfato, houve diferença significativa no peso dos colmos em relação ao Controle. No tratamento com FAPs 50% + MAP 50%, na fosfatagem com Termofosfato se diferenciou das demais fosfatagens. Na sub parcela com FAPs 25% + MAP 75%, a aplicação deles no sulco, obteve diferença significativa em relação às

fosfatagens FAPs P28 e Controle. Para a sub parcela MAP 100%, houve diferença significativa da área com Super Triplo em relação às fosfatagens com MAP e FAPs P28, representado na tabela 25.

Tabela 25. Desdobramento da Fosfatagem em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco) para o peso dos colmos.

Fosfatagem	Controle	Multifós 100%	Multifós 50% + MAP 50%	Multifós 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	0,8375 c	0,8663 c	1,0075 b	0,8775 c	0,9975 bc
MAP	1,0737 b	1,0206 abc	0,9781 b	0,9863 bc	0,9344 c
FAPs P28	1,0575 b	0,9488 bc	1,0200 b	0,9488 c	0,9344 c
Super Triplo	1,0912 b	1,0688 ab	0,9713 b	1,2688 a	1,1700 a
Termofosfato	1,3563 a	1,1787 a	1,2137 a	1,1450 ab	1,1225 ab
média	1,08	1,02	1,04	1,05	1,03

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No geral, verificamos de que a melhor fosfatagem em todas as sub parcelas (adubação no sulco) foi com Termofosfato em relação ao peso dos colmos. Verifica-se de que para o peso dos colmos não houve diferença nas sub parcelas (adubação no sulco) e sim para as fosfatagens, no qual incidirá fortemente na produtividade da cana planta. Korndorfer, G.H. (2004) citou que a deficiência de fósforo (P) na cana planta ocorre drástica redução no perfilhamento, na altura das plantas e no diâmetro do colmo.

Se compararmos os tratamentos das sub parcelas (adubação no sulco) em cada uma das parcelas (fosfatagem), verificamos que representa diferença significativa apenas com os tratamentos Controle, Super Triplo e Termofosfato ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, conforme tabela 26.

Tabela 26. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (adubação em sulco) em cada em cada parcela (fosfatagem) no peso de colmos

	Peso colmo
Controle	0,0356**
MAP	0,3244ns
FAPs P28	0,2889ns
Super Triplo	0,0008**
Termofosfato	0,0088**

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade; *** significativo a 1% de probabilidade

Na tabela 27 verificamos que na parcela (fosfatagem) Controle, a sub parcela (adubação no sulco) do FAPs 50% + MAP 50% houve diferença significativa em relação ao Controle. Se verificarmos a parcela Super Triplo, verifica-se que o tratamento com adubação no sulco com FAPs 25% + MAP 75% apresentou diferença significativa em relação à sub parcela com FAPs 50% + MAP 50%. Na fosfatagem, com Termofosfato, houve diferença na área Controle em relação aos tratamentos das subparcelas FAPs 100%, FAPs 25% + MAP 75% e MAP 100%. Verifica-se de que a fosfatagem (aplicação em área total) obtiveram maior impacto no peso dos colmos do que a adubação no sulco.

Tabela 27. Desdobramento das sub parcelas (adubação no sulco) em cada uma das fosfatagens para o peso de colmos.

Tratamento	Controle	Super Triplo	Termofosfato
Controle	0,8375 b	1,09120 bc	1,35630 a
FAPs 100%	0,8663 ab	1,06880 bc	1,17870 b
FAPs 50% + MAP 50%	1,0075 a	0,97130 c	1,21370 ab
FAPs 25% + MAP 75%	0,8775 ab	1,26880 a	1,14500 b
MAP 100%	0,9975 ab	1,17000 ab	1,12250 b
média kg	0,9173	1,1140	1,2032

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Verificando os dados de produtividade (ton há⁻¹) de cana-de-açúcar para o primeiro corte (cana planta) a análise de variância indicou efeitos significativos para a fosfatagem (parcelas) e para a interação da fosfatagem com a adubação no sulco, não apresentando efeitos significativos a 5% de probabilidade, quando analisado os tratamentos de adubação nos sulcos (sub parcelas), a um coeficiente de variação de 13,83% e produtividade média de 72,64 ton há⁻¹, conforme tabela 28.

Tabela 28. Análise de variância para os dados de produtividade média obtidos

Fonte variação	Grau liberdade	p valor
Fosfatagem	4	0,0002**
Adubação sulco	4	0,3826ns
Fosfatagem x Adubação sulco	16	0,0090**

CV: 13,83 %

Média Produtividade: 72,64 ton há⁻¹

*** significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5 % probabilidade;

Quando realizado o desdobramento para comparar as fosfatagens realizadas em área total, verificamos que apenas o tratamento com aplicação de Super Triplo (326 kg há^{-1}) é que apresentou diferença significativa a 5%, conforme tabela 29.

Tabela 29. Desdobramento das fosfatagens em área total

Tratamento	P valor
Controle	0,0626 ^{ns}
MAP	0,0837 ^{ns}
FAPs P28	0,0916 ^{ns}
Super Triplo	0,0379 ^{**}
Termofosfato	0,3703 ^{ns}

ns: não significativo; ** significativo a 5 % probabilidade;

Podemos considerar que as fosfatagens com Termofosfato e Super Triplo se interagiram melhor com todas as adubações no sulco. Todas as áreas realizadas fosfatagens antes do plantio, diferenciaram-se estatisticamente na produção em relação à área Controle, confirmando a importância do Fósforo para o plantio de cana, também confirmado por Penati et al. (1997) que pesquisaram fontes de fósforo em três solos argilosos e três em solos de textura média com baixo teor de fósforo, sendo elas Termofosfato, Superfosfato Triplo, Fosmag, MAP e Super Simples. Concluiu que não houve diferença significativa para as diferentes fontes de fósforo para a produtividade da cana, por % cana e margem de contribuição agroindustrial. As fontes de fósforo tiveram maior produtividade de cana em relação à testemunha.

Dentre os tratamentos utilizados, o melhor resultado em relação à produção foi com a aplicação em área total de Termofosfato e Super Triplo, sem adubação no sulco, conforme tabela 30, obtendo ganhos de produtividade de 45,87% (27,41 toneladas) e 36,85% (22,02 toneladas) respectivamente, onde estatisticamente o Termofosfato se diferenciou dos demais tratamentos (Controle, MAP, FAPs P28, Super Triplo) obtendo os melhores resultados.

Tabela 30. Média produtividade nas parcelas (fosfatagens)

Tratamento	Média Produtividade
Controle	59,75 c
MAP	64,56 bc
FAPs P28	69,98 b
Super Triplo	81,77 ab
Termofosfato	87,16 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Comparando as fontes superfosfato triplo e multifosfato magnesiano e doses de fósforo no plantio de variedades SP71-1406, Ferreira et al. (1989) obtiveram resposta quadrática em relação às doses, com a dose de $120 \text{ kg há}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ sendo suficiente para atingir a maior produtividade de cana e estímulo ao perfilhamento. Não houve diferença significativa entre as fontes fosfatadas.

No trabalho de Coleti (1983) as fontes de fósforo aplicadas em solo arenoso (Termofosfato, MAP, DAP, Superfosfato Simples, Superfosfato Triplo, Fosfato Araxá parcialmente acidulado, Hiperfosfato, Apatita, Farinha de ossos, torta de filtro) aumentaram a produtividade da cana planta em relação à testemunha, tendo as fontes mostrado eficiência semelhantes.

Faroni et al. (2012) analisando tratamentos que receberam doses de fósforo (P), com objetivo de fazer uma calibração de dose do nutriente para a cana planta, houve resposta em produtividade de cana ao aumento das doses de fósforo. Apesar da alta produtividade, as doses de P aumentaram linearmente a produtividade em colmos e açúcar.

Na tabela 31 podemos verificar os desdobramentos das fosfatagens comparando as adubações no sulco em cada fosfatagem. Mesmo no desdobramento não demonstrar significância ao nível de 0,05% de probabilidade para o MAP e FAPs P28 apresentam diferença estatística, porém com médias de produtividade menor se comparada com a fosfatagem de Termofosfato e Super Triplo. Analisando pela produtividade, as sub parcelas Controle (sem aplicação de fósforo no sulco) tiveram uma maior produtividade quando realizado a fosfatagem em todos os tratamentos (Termofosfato, Super Triplo, MAP e FAPs).

Caione, G. et al. (2012) avaliaram a produtividade e o valor nutricional de duas variedades de cana-de-açúcar cultivada com diferentes fontes de fósforo,

durante três ciclos de produção no norte do Mato Grosso. As fontes de fósforo utilizadas foram farinha de ossos, fosfato de Arad e superfosfato triplo, na dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e, um controle, sem aplicação do nutriente no sulco de plantio. As fontes de P aplicadas no sulco de plantio causaram efeito significativo ($P < 0,01$) para a produtividade da cana planta, diferindo do controle. Concluíram que as fontes de fósforo proporcionaram maiores produtividades durante o primeiro ciclo da cana-de-açúcar e não causaram efeito significativo na produtividade nos ciclos posteriores.

Figura 31. Produtividade média das fosfatagens (parcelas) em cada sub parcela

Tratamento	Controle	MAP	FAPs P28	Super Triplo	Optein
Controle	51,7700 a	74,8900 a	72,2875 ab	85,1450 ab	95,9150 a
FAPs 100%	52,1400 a	65,9225 ab	61,0625 b	82,2950 ab	87,5500 a
FAPs 50% + MAP 50%	66,2300 a	67,1725 ab	79,1100 a	67,8250 b	82,6850 a
FAPs 25% + MAP 75%	60,1800 a	57,9400 ab	73,2350 ab	89,7700 a	85,8275 a
MAP 100%	68,4225 a	56,8600 b	64,2125 ab	83,7975 ab	83,8100 a
média (ton há^{-1})	59,75	64,56	69,98	81,77	87,16

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Resultados semelhantes se deram em experimentos e análises compiladas por Rein et al. (2015), onde analisaram experimentos de adubação fosfatada de cana realizados no país nos últimos 30 anos, nos quais foram comparados os dois modos de aplicação do fertilizante fosfatados no plantio, exclusivamente no sulco ou a lanço com incorporação, na mesma dose de P_2O_5 por há. Concluíram baseados nos resultados que em diversas regiões e condições de solo, que aplicações de altas doses de fertilizantes fosfatados no sulco de plantio não é a melhor estratégia de adubação para essa cultura.

Tabela 32. Desdobramento das aplicações de adubações no sulco

Tratamento	P valor
Controle	$< 0,0001$ ***
FAPs 100%	$< 0,0001$ ***
FAPs 50% + MAP 50%	0,1047 ^{ns}
FAPs 25% + MAP 75%	$< 0,0001$ ***
MAP 100%	0,0017**

ns: não significativo; *** significativo a 1% de probabilidade;

** significativo a 5 % probabilidade

No desdobramento realizado nas sub parcelas (adubação no sulco), observado na tabela 32, verificamos que foram significativos com os tratamentos Controle, FAPs P28 100%, FAPs P-28 25% + MAP 75% a 1% de probabilidade e com MAP 100% com significância a 5% de probabilidade, não sendo significativo apenas o tratamento com FAPs P28 50 % + MAP 50% aplicado no sulco.

Tabela 33. Desdobramento das sub parcelas (adubação no sulco) em relação a cada fosfatagem.

Fosfatagem	Controle	FAPs 100%	FAPs 25% +	
			MAP 75%	MAP 100%
Controle	51,7700 c	52,1400 c	60,1800 b	68,4225 ab
MAP	74,8900 b	65,9225 bc	57,9400 b	56,8600 b
FAPs P28	72,2875 b	61,0625 c	73,2350 ab	64,2125 b
Super Triplo	85,1450 ab	82,2950 ab	89,7700 a	83,7975 a
Termofosfato	95,9150 a	87,5500 a	85,8275 a	83,8100 a
média (ton há ⁻¹)	76,00	69,79	73,39	71,42

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na análise de variância, com o desdobramento das sub parcelas (aplicação no sulco), tabela 33, verifica-se as interações da adubação no sulco com as fosfatagens. Na sub parcela (adubação no sulco) Controle, obteve melhor produtividade a área com de fosfatagem com Termofosfato, se diferenciando estatisticamente com a área Controle. Quando utilizado na adubação no sulco o FAPs 100%, a área de fosfatagem de Termofosfato se diferenciou em relação às áreas de Controle e FAPs P28. Na sub parcela de FAPs 25% + MAP 75%, as fosfatagens com Termofosfato e Super Triplo se diferenciaram estatisticamente das parcelas Controle e MAP.

Na adubação em sulco (sub parcela) de MAP 100%, as fosfatagens (parcela) com Termofosfato e Super Triplo se diferenciaram estatisticamente das parcelas de MAP e FAPs P28. Podemos considerar que as fosfatagens com Termofosfato e Super Triplo se interagiram melhor com todas as adubações no sulco.

6.4 Qualidade tecnológica

A análise de variância para os atributos qualitativos obtidos na colheita da cana-de-açúcar indicou haver resposta significativa para as parcelas de fosfatagem

para a ATR, PC, Pureza, Fibra e Brix e para as sub parcelas (adubação no sulco) para a Pureza e Fibra. Na interação entre a fosfatagem vs adubação no sulco, houve resposta significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey apenas para a Fibra, conforme tabela 34, não havendo diferença significativa para as demais propriedades tecnológicas (ATR, PC, Pureza e Brix)

Tabela 34. Análise de variância para qualidade tecnológica da cana-de-açúcar nas parcelas de fosfatagem e sub parcelas de adubação no sulco.

	ATR	PC	Pureza	Fibra	Brix
Fosfatagem	0,0178**	0,0105**	0,0534**	< 0,0001***	0,0072**
Adubação sulco	0,2677 ^{ns}	0,1848 ^{ns}	0,0168**	0,0161**	0,2322 ^{ns}
Fosfatagem x Adubação sulco	0,6528 ^{ns}	0,5835 ^{ns}	0,2155 ^{ns}	0,0179**	0,2688 ^{ns}
Média	181,38	18,39	90,21	12,24	24,13
CV (%)	2,0092	2,1395	2,0197	2,2546	1,9101

ns: não significativo; *** significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5 % probabilidade.

Verificando os resultados na fosfatagem (tabela 35) encontra-se diferenças significativas para o PC, Pureza, Fibra e Brix, exceto para o ATR. No tratamento Controle apresentou melhores resultados para todas as análises estudadas (ATR, PC, Pureza, Fibra e Brix).

Tabela 35. Valores de resultados tecnológicos para fosfatagem (parcelas)

	ATR	PC	Pureza	Fibra	Brix
Controle	182,9300 a	18,5955 a	91,9324 a	13,2400 a	24,2375 a
MAP	182,3330 a	18,5075 ab	90,1485 ab	12,6875 b	24,3970 a
FAPs P28	179,4650 a	18,1865 b	89,7045 ab	13,1475 ab	24,3435 a
Super Triplo	181,8070 a	18,4025 ab	89,1585 b	11,4500 c	23,9656 ab
Termofosfato	180,3770 a	18,2810 ab	90,1550 ab	11,1450 c	23,6870 b
Média	181,38	18,39	90,22	12,33	24,13

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Efeitos semelhantes encontrou Thomaz, H.Q.V. (2009) quando estudou o sistema mais eficiente de aplicação e fornecimento de fósforo como nutriente para produção de cana, enfatizando formas de aplicação (fosfatagem) determinando a dose a ser utilizada e a fonte mais eficiente na disponibilização de fósforo ao longo dos anos. Realizou-se a avaliação da produção nos três anos de experimento, e no terceiro corte da cana foram avaliadas as características tecnológicas do colmo.

Concluiu que para as características tecnológicas, os tratamentos não foram suficientes para causar diferenças significativas.

Teixeira et al. (2014) avaliaram a resposta da cana-de-açúcar a doses de P_2O_5 fornecidas por fertilizante organomineral, conduzindo um experimento, onde os tratamentos constaram de quatro doses de P_2O_5 (40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) fornecidas com fertilizante organomineral, um tratamento controle que não recebeu aplicação de P_2O_5 e um tratamento que recebeu 160 kg ha⁻¹ de P_2O_5 via fertilizante mineral. Quando foi avaliado o efeito da adubação fosfatada (Fertilizantes vs Controle), a aplicação dos fertilizantes não influenciou as variáveis tecnológicas da cana planta, verificando-se igualdade de eficiência das fontes sobre a qualidade da matéria prima. Os resultados obtidos estão de acordo com diversos estudos que mostram respostas variadas sobre a influência do fósforo (P) nos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2011; SOUZA, 2012).

Quando comparamos no desdobramento as áreas em cada linha para a Fibra, verifica-se que para todas as sub parcelas (adubação no sulco) há diferença significativa a 1% de probabilidade, descrito na tabela 36.

Tabela 36. Comparação dos tratamentos das parcelas (fosfatagem) em cada uma das sub parcelas (adubação no sulco)

Tratamentos	Fibra
Controle	<0,0001***
FAPs 100%	<0,0001***
FAPs 50% + MAP 50%	<0,0001***
FAPs 25% + MAP 75%	<0,0001***
MAP 100%	<0,0001***

*** significativo a 1% de probabilidade

Tabela 37. Desdobramento das sub parcelas em cada parcela para a fibra da cana-de-açúcar.

Fosfatagem	Controle	FAPs 100%	FAPs 50% + MAP 50%	FAPs 25% + MAP 75%	MAP 100%
Controle	13,2400 a	12,9950 a	12,3400 b	12,8025 a	13,0625 a
MAP	12,6875 b	12,6550 a	12,4500 b	12,6375 a	12,8475 a
FAPs P28	13,1475 ab	12,8050 a	12,9700 a	12,9750 a	12,8650 a
Super Triplo	11,4500 c	11,5575 b	11,2900 c	11,1400 b	11,2125 b
Termofosfato	11,1450 c	11,4525 b	11,1750 c	11,6325 b	11,3600 b
média	12,33	12,29	12,05	12,24	12,27

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na tabela 37, vemos que na sub parcela (adubação no sulco) Controle, estatisticamente houve diferença significativa entre as parcelas Controle e Super Triplo / Termofosfato. Houve resultados semelhantes nas sub parcelas FAPs 100%, FAPs 25% + MAP 75% e MAP 100%, em que as fosfatagens Controle, MAP e FAPs P28, apresentaram diferenças significativas para as áreas de Super Triplo e Termofosfato. Na sub parcela com FAPs 50% + MAP 50%, a fosfatagem com FAPs P28 ocorreu diferença significativa às demais fosfatagens (Controle, MAP, Super Triplo e Termofosfato). Analisando as médias de cada tratamento, não apresenta diferença significativa.

Tabela 38. Comparação dos tratamentos das sub parcelas (adubação no sulco) em cada uma das parcelas (fosfatagem)

	Fibra
Controle	0,0003**
MAP	0,3857ns
FAPs P28	0,4716ns
Super Triplo	0,2005ns
Termofosfato	0,0855ns

ns: não significativo; ** significativo a 5 % de probabilidade;

Quando desdobramos as adubações no sulco em cada área da fosfatagem verificamos que somente a parcela (fosfatagem) Controle representa diferença significativa, conforme tabela 38.

Dentro da parcela (fosfatagem) Controle, constatou-se que as sub parcelas (adubação no sulco) Controle, FAPs 100% e MAP 100%, se diferenciaram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade da sub parcela FAPs 50% + MAP 50%, demonstrado na tabela 39.

Tabela 39. Desdobramento da parcelas em cada sub parcela para a fibra da cana-de-açúcar.

Tratamento	Controle
Controle	13,2400 a
FAPs 100%	12,3400 a
FAPs 50% + MAP 50%	12,3400 b
FAPs 25% + MAP 75%	12,0825 ab
MAP 100%	13,0625 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A diferença significativa para a ATR, PC, Pureza, Fibra e Brix é pequena entre os tratamentos, podendo verificar que o fósforo não afeta diretamente a qualidade tecnológica para esses elementos, no 1º corte da cana-de-açúcar (cana planta).

Peres, C.E.B & Luz, P.H.C. (2014) também verificaram a eficiência agrônômica de fontes de fósforo e micronutrientes sobre a qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar, concluindo que a análise de variância para os atributos qualitativos obtidos na soqueira de cana-de-açúcar (4º corte) indicou não haver resposta significância para efeitos dos tratamentos principais, tratamentos secundários e interação entre eles para as variáveis: Pol, Pureza, Fibra e ATR. A utilização de fósforo (P) não influenciou a variável tecnológica pureza, Pol, fibra e ATR de modo que as médias dos tratamentos que receberam fósforo não diferiram das que não receberam fósforo.

Apesar de estatisticamente não diferenciar os valores das qualidades tecnológicas, se analisarmos a interação da produtividade com a ATR (Açúcar Total Recuperável) de cada tratamento de fosfatagem realizado, conforme tabela 40, podemos verificar de que a quantidade de açúcar produzido por há, representa uma diferença significativa para os tratamentos com Termofosfato e Super Triplo em relação ao tratamento Controle, com adições de 4.791,42 kg e 3.935,93 kg de açúcar por há respectivamente.

Tabela 40. Quantidade de açúcar produzida por há nos tratamentos de fosfatagens

Tratamentos	Produtividade ton há⁻¹	ATR kg de açúcar	Kg de açúcar há⁻¹
Controle	59,75 c	182,930 a	10.929,79
MAP	64,56 bc	182,333 a	11.770,87
Multifós P28	69,98 bc	179,465 a	12.559,23
Super Triplo	81,77 ab	181,807 a	14.865,72
Optein	87,16 a	180,377 a	15.721,21

7. CONCLUSÃO

- Considerando a análise química de solo e a extração de fósforo pela cana-de-açúcar para seu desenvolvimento, a melhor fonte de P para reserva do elemento no solo foi a fosfatagem com Super Triplo. Para todos os elementos, obtendo um melhor equilíbrio no solo, o tratamento com Termofosfato teve um melhor resultado, se diferenciando dos demais.
- Na análise foliar, apresentou melhor concentração de fósforo (P) na planta a interação da fosfatagem com MAP e adubação no sulco com FAPs 50% + MAP 50%, e a fosfatagem com Termofosfato em associação com todos os tratamentos de adubação no sulco.
- Para a produtividade, houve resposta para a fosfatagem, não tendo para a adubação no sulco. O melhor resultado encontrado foi com aplicação de Termofosfato em área total (fosfatagem), resultando em um acréscimo na produtividade de 27,41 ton há⁻¹ (aumento de 45,87%), seguido de fosfatagem com Super Triplo, resultando acréscimo de 32,02 ton há⁻¹ (36,85%) comparado à área sem aplicação de fósforo (Controle). Na interação da fosfatagem com as adubações no sulco, a fosfatagem com Termofosfato proporcionou melhores resultados.
- Para as propriedades tecnológicas, não houve diferenciação significativa dos tipos e formas de aplicação de fertilizantes fosfatados, comparados à área sem fósforo (controle).

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I.M.G, 2008. Doenças causadas por bactérias. Cana-de-Açúcar, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas,SP, v. 1, p. 437-450, 2008.

ANJOS, I.A e FIGUEIREDO, P.A.M. Aspectos Fitotécnicos do plantio. Cana-de-Açúcar, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas,SP, v. 1, p. 585-597, 2008.

BARACAT NETO, J. Desenvolvimento e produção da cana de açúcar em função do propágulo utilizado. Tese dissertação mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, 2015, 77p.

BARNES, J.S.; KAMPRATH, E.J. Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils. Raleigh: North Carolina State University, 1975. 23p. (Agricultural Experiment Station. Technical bulletin, 229).

BRAGA, G. N. M. . Tipos e obtenção de fertilizantes fosfatados, Na sala com Gismonti, publicação em site de 04/05/2010 <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/05/tipos-e-obtencao-dos-fertilizantes.html> acesso em 04/04/2017.

CAIONE, G. . Avaliação de fontes de fósforo no desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica de cana-de-açúcar. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia (Campus de Ilha Solteira). Ilha Solteira : [s.n.], : 2011

CAIONE, G.; TEIXEIRA M.T.R.; LANGE, A.; SILVA, A.F.; FERNANDES F.M.. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em latosolo vermelho amarelo. Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v.9, n.1, p.1- 11, 2011.

CAIONE, G.; FERNANDES, F.M.; LANGE, A.; BERGAMASCHINE, F.; DALCHIAVON, F.C.; DA SILVA, A.F. Produtividade e valor nutricional de variedades de cana-de-açúcar sob diferentes fontes de fósforo. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.33, suplemento 1, p. 2813*-2824, 2012.

CAMARA, G.M.S.. Ecofisiologia da cultura de cana-de-açúcar. In: CAMARA, G. M. S; OLIVEIRA, E.A.M. Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.31-64.

CAPUTO, M.M. et al.. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana de açúcar sob reguladores vegetais. Interciência, Caracas, v. 32, n. 12, p. 834-840, 2007.

CASAGRANDE, A.A.. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 1981. 157p.

CASAGRANDE, M. G.. Variedades comerciais CTC: Soluções para o aumento de produtividade, Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, Ribeirão Preto/SP, 2013. p. 24-30, consulta em http://www.assocana.com.br/restrito/19.09.13-7_Enc._Varied_Pal.13.Marcos_Virgilio_Casagrande.pdf , acesso em 18/04/17.

CASILLAS, V.J.C. et al. Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes em el cultivo del rabano (*Raphanus sativus* L.). Acta Agronomica, Palmira, v. 36, n. 32, p. 185-195, 1996.

CASTRO, P.R.C.. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção de cana de açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. Anais... Piracicaba: STAB, 2000. 1-CD-ROM.

CASTRO, P.C.R.; SANGUINO, A.; VELELA, E.; AKIBA, F.; SUDOS, F.; MASUDA, Y.. Ação de reguladores de crescimento no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar tratada termicamente. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v. 85, n. 5, p. 42-50, 1975.

CASTRO, P.C.R. ; TAVARES, S.; PITELLI, A.M.C.M.; PEREIRA, M.A. Bioativador na Agricultura. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 16. 2006, Piracicaba. Anais... Piracicaba: UNIMEP, 2006 1 CD-ROM.

CEBIM, V.L.S.. Biometria de mudas de cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*) em dois sistemas de plantio. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CENTELLAS, A.Q.; FORTES, G.R.L; MULLER, N.T.G.; ZANOL, G.C.; FLORES, R.; GOTTINARI, R.A. Efeitos de auxinas sintéticas no enraizamento in vitro da macieira. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.34, n.2, p.181-186, fev.1999.

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Índices pluviométricos de chuvas. Consulta em <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp> , em período de cultivo. Acesso em 19/09/2017.

COLETI, J.T.. Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.284-332.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira, cana de açúcar. Brasília, 2016. v.2, n.4, 76 p. Disponível em <http://www.conab.gov.br/>

COSTA, M.C.G.. Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CRISTOFOLETTI JUNIOR, S.C.. Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini toletes de variedades de cana-de-açúcar. Tese de Mestre em Ciência, ESALQ, Piracicaba, 94p., 2012.

DAMETO, P.R.. Desempenho e Características da Fonte de Fósforo em Fertilizantes, Informações Rural Pecuária – Tecnologia e Manejo. Disponível em <http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/adubos/desempenho-e-caracteristicas-da-fonte-de-fosforo-em-fertilizantes.html>, acesso em 20/12/2017.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G.J.A.; JUNIOR, P.A.V.; MANFRON, P.A.; MARTIN, T.N.; BONECARRÉRRE, R.A.G.; CRESPO, P.E.N.. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. Revista da FZVA, Uruguaiana, v.11, n.1, p. 1-9, 2004.

EMBRAPA, Adubação mineral em cana-de-açúcar, ageitec – Agência embrapa de Informação Tecnológica, http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_38_711200516717.html , consulta em 04/04/2017, in

FERNANDES, J.L.. Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de imagens spot vegetation e dados meteorológicos. Universidade de Campinas. FEAGRI. 2009. 114 p. (Tese de mestrado)

FERNANDES, A.J.. Manual da Cana-de-Açúcar. Piracicaba: Livro Ceres, 1984. 196 p.

FORZA FERTILIZANTES, consulta através do site <http://forzafert.com.br/produtos.html> em 24/10/2017, página produtos, 2017.

GRANT, C.A. et al.. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial das plantas, Informações Agrônomicas Potafós, nº 95, Setembro de 2001, p 1-5, Piracicaba/SP, 2001.

KORNDORFER, G.H.. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. Fósforo na agricultura brasileira – Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, Anais do simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira em São Pedro/SP, p.291-305, Piracicaba, 2004.

LANDELL, M.G.A et al.. Documentos IAC, Campinas, n.109, p. 1 a 22, 2013

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

LUCCHESI, A.A.. Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Boletim Técnico ESALQ/SENA, n.7, p.50, 1995.

MACHADO, L.O.. Apostila de adubação fosfatada, disponível em <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Monitor%20Leonardo%20-%20Apostila%20Adub.%20Fosfatada%2001.pdf> , acesso em 04/04/2017. 6 páginas.

MALAVOLTA, E.. Manual de nutrição mineral de plantas, São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2006, 638 páginas. p. 43-51, 163-165, 551-561

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M.. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar: Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Documentos 110. Setembro, 2009.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balanço nacional de cana -de-açúcar e agroenergia . Secretaria de Produção e Agroenergia – Brasília, 2007. 139 p.

MARTINS, A.L.M.; LANDELL, M.G.A.. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no programa Cana IAC. Pindorama: Instituto Agrônômico, 1995.p. 2-14.

MARTINS, N.G.S.. Os fosfatos na cana-de-açúcar. 2004. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MICROQUÍMICA FERTILIZANTES, consulta através do site <https://www.microquimica.com/site/nutricaoplantas/7/fosforo> em 20/12/2017, nutrição de plantas – fontes de fósforo, 2017.

MODA, L.R.. Fontes e doses de fósforo na presença e ausência de composto orgânico no estado nutricional e na produtividade da cana-de-açúcar. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2015

MORAES, O. et al.. Efeito do uso de polímero hidroretentor no solo sobre o intervalo de irrigação na cultura do alface (*Lactuca sativa* L.), Revista Engenharia Rural, v.12, único, p. 1-8, 2001.

NOGUEIRA, A.R.A; SOUZA, G.B.. Manual de Laboratório: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos. Embrapa Pecuária Sudeste, p 145-199, 334p., São Carlos, 2005.

NOVA CANA, Site Nova Cana, Perdas pela colheita mecanizada. Acesso em 11/12/17, pelo <https://www.novacana.com/n/cana/colheita/perdas-colheita-mecanizada-equivalente-preco-usinas-ctbe-051217/>

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

PENATTI, C.P.. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência, 347p, Itu/SP, 2013.

PERES, C.E.B., LUZ, P.H.C.. Eficiência Agronômica de fontes de fósforo e micronutrientes sobre a produtividade e qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar, 2014. 114 f. Dissertação (mestrado) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP, Zootecnia, Pirassununga/SP, 2014.

PINOTTI, E.B.; GODOY, L.J.G. Eficiência agronômica do fertilizante fosfatado FAPs farelado na cultura da cana-de-açúcar, Fatec Shunji Nishimura, Jaú/SP, 2013.

PRADO, R.M., ROZANE, D.E., DO VALE, D.W., CORREIA, M.A.R., SOUZA, H.A.. Nutrição de plantas – diagnose foliar em grandes culturas, 2008, p. 211-219, Jaboticabal: FCAV, Capes/Fundunesp.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G.; GOMES, J.D.; NUNES, R.S.; KORNDORFER, G.H.. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado, Circular Técnica 29 – EMBRAPA, Planaltina/DF, 2015.

Revista Variedades CTC, Centro de Tecnologia Canaveieira, Piracicaba/SP, 2013, consulta em <http://www.ctcanaveieira.com.br/downloads/variedades2013WEB3.pdf> , acesso em 18/04/2017.

RIPOLLI, T.C.C.; RIPOLI M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y.. Noções fitotécnicas. Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte. Piracicaba. Ed. dos Autores, 2006. Cap. 3, p. 80-88.

ROSSETO, R. R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO JUNIOR, J. P. Q. Fósforo. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 271-288, 2010.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; PRADO JUNIOR, J.P.Q.. Cana-de-açúcar, Fósforo, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas/SP, 1ª edição, 2008. p. 271-312.

SANTOS, V.R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A.W.; COSTA, J.P.V.; SANTOS, C.G.; SANTOS, A. C. I.. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. Vol.13(4), p.389-396 [Revista revisada por pares] 2012.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W.. Plant physiology. Belmont: Wadsworth Publ.,1992. 682 p.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org). Atualização em profusão de cana-de-açúcar. Piracicaba: Ed. Dos autores, 2006. Cap. 2, p. 19-36.

SAS Institute Inc. 2013. SAS/STAT® 13.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SILVA, F.F.. Reconhecimento de padrões de nutrição para nitrogênio e potássio em híbridos de milho por análise de imagens digitais, 2015. 160 f. Tese (doutorado) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP, Zootecnia, Pirassununga/SP, 2015.

SILVA, M.A.; CATO, S.C.; COSTA, A.G.F.. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana de açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.4, p. 774-780, abr. 2010.

SIMÕES, M.S.. Relação entre indicadores de crescimento e de produção da cana-de-açúcar e dados espectrais terrestres e orbitais. Campinas, Universidade de Campinas , 2004. 117 p. (Tese de mestrado)

SOUSA JUNIOR, P.R.. Modos de aplicação e doses de fósforo na cana-de-açúcar em distintos manejos de solo. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

SOUZA, M.; LÍRIO, V.S.; FELIPE, E.A. Evolução da participação brasileira no mercado sucroalcooleiro internacional. XLIII Congresso da Sober. Ribeirão Preto, julho. 2005

STUPIELLO, J.P.. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

SUGUITANI, C.. Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sob efeito do fósforo. 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.. Plant physiology. 3rd ed. Massachussetts: Sinauer Associates, 2002. 690 p.

TEIXEIRA, W.G.; SOUSA, R.T.X.; KORNDÖRFER, G.H.. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. Biosci. J., Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TOMAZ, H.V.Q.. Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo em cana-de-açúcar. 2009. 94p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

UNICA-União dos Plantadores de Cana-de-açúcar de São Paulo. Estatísticas do Setor Sucroalcooleiro. www.unica.com.br. 2005

VALE FERTILIZANTES – Produção de fertilizantes fosfatados, consulta em <http://www.valefertilizantes.com>, acesso em 13/12/17.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.. Cana-de-açúcar, Fisiologia do Sistema Radicular, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas/SP, 1^a edição, 2008. p. 79-97.

VITTI G.C.; LUZ, P.H.C.; ALTRAN, W.S.. Cana-de-açúcar, bioenergia, açúcar e etanol – Tecnologias e Perspectivas, 2^a edição, Viçosa/MG, 2012. 637 p.

VITTI, A. et al. Recomendações gerais para conservação do solo na cultura de cana de açúcar. Boletim de recomendações gerais, IAC, Campinas, p. 35-38, 2016.

YAMADA, T.; STIPP e ABDALLA, S.R.. Fósforo na agricultura brasileira – Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, Anais do simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira em São Pedro/SP, Piracicaba, 2004.

ZAMBROSI, F.C.B.. Adubação com fósforo em cana soca e sua interação com magnésio, Instituto Agrônomo, Centro de Solos e Recursos Ambientais, v. 71, n. 3, p.400-405 Campinas/SP, 2012.